

Bioquímica *da* Nutrição

2ª Edição



Jane Rizzo Palermo

 **Atheneu**

**Bioquímica
da Nutrição**
2ª edição

NUTRIÇÃO

A Ciência e a Arte de Ler Artigos Científicos – **Braulio Luna Filho**
 A Saúde Brasileira Pode Dar Certo – **Lottenberg**
 Administração Aplicada às Unidades de Alimentação e Nutrição – **Teixeira**
 Adolescência... Quantas Dúvidas! – **Fisberg e Medeiros**
 Aleitamento Materno 2ª ed. – **Dias Rego**
 Alergias Alimentares – **De Angelis**
 Alimentos - Um Estudo Abrangente – **Evangelista**
 Alimentos com Alegação Diet ou Light – **Freitas**
 Alimentos e Sua Ação Terapêutica – **Andréia Ramalho**
 Aspectos Nutricionais no Processo do Envelhecimento – **Busnello**
 Avaliação Nutricional: Aspectos Clínicos e Laboratoriais – **Goulart Duarte**
 Bioquímica da Nutrição – **Palermo**
 Biossegurança em Unidade de Alimentação e Nutrição – **Valle e Marques**
 Chefs do Coração – **Ramires**
 Coluna: Ponto e Vírgula 7ª ed. – **Goldenberg**
 Como Cuidar do Seu Coração – **Mitsue Isosaki e Adriana Lúcia Van-Erven Ávila**
 Controle Sanitário dos Alimentos 3ª ed. – **Riedel**
 Cuidados Paliativos – Diretrizes, Humanização e Alívio de Sintomas – **Franklin Santana**
 Dicionário Brasileiro de Nutrição – **Asbran**
 Dicionário Técnico de Nutrição – **Evangelista**
 Dieta, Nutrição e Câncer – **Dan**
 Epidemiologia 2ª ed. – **Medronho**
 Fisiologia da Nutrição Humana Aplicada – **De Angelis**
 Fome Oculta – **Andréia Ramalho**
 Fome Oculta - Bases Fisiológicas para Reduzir Seu Risco através da Alimentação Saudável – **De Angelis**
 Fundamentos de Engenharia de Alimentos - Série Ciência, Tecnologia, Engenharia de Alimentos e Nutrição - Vol. 5 – **Maria Angela de Almeida Meireles e Camila Gambini Pereira**
 Fundamentos de Nutrição para Engenharia e Tecnologia em Alimentos – **Ana Flávia Oliveira e Janesca Alban Roman**
 Guia Básico de Terapia Nutricional – **Dan**
 Guia de Aleitamento Materno 2ª ed. – **Dias Rego**
 Guia de Consultório - Atendimento e Administração – **Carvalho Argolo**
 Importância de Alimentos Vegetais na Proteção da Saúde 2ª ed. – **De Angelis**
 Integração Hormonal do Metabolismo Energético – **Poian e Alves**
 Interpretação de Exames Bioquímicos – **Carvalho Costa**
 Leite Materno - Como Mantê-lo Sempre Abundante 2ª ed. – **Bicalho Lana**
 Liga de Controle do Diabetes – **Lottenberg**
 Manual de Dietoterapia e Avaliação Nutricional do Serviço de Nutrição e Dietética do Instituto do Coração (HC-FMUSP) - 2ª ed. – **Mitsue Isosaki**

Outros livros de interesse

Manual de Estrutura e Organização do Restaurante Comercial – **Lobo**
 Manual de Terapia Nutricional em Oncologia do ICESP
 Microbiologia dos Alimentos – **Gombossy e Landgraf**
 Nutrição do Recém-nascido – **Felberbaum**
 Nutrição e Síndrome Metabólica – **Fernanda Michielin Busnello e Catarina Bertaso Andreatta Gottschall**
 Nutrição Estética – **Aline Petter Schneider**
 Nutrição Humana - Autoavaliação e Revisão – **Olganê**
 Nutrição Oral, Enteral e Parenteral na Prática Clínica 4ª ed. (2 vols.) – **Dan Linetzký Waitzberg**
 Nutrição, Fundamentos e Aspectos Atuais 2ª ed. – **Tirapegui**
 Nutrição, Metabolismo e Suplementação na Atividade Física – **Tirapegui**
 O Livro de Estímulo à Amamentação - Uma Visão Biológica, Fisiológica e Psicológico-Comportamental da Amamentação – **Bicalho Lana**
 O que Você Precisa Saber sobre o Sistema Único de Saúde – **APM-SUS**
 Os Chefs do Coração – **InCor**
 Planejamento Estratégico de Cardápios para a Gestão de Negócios em Alimentação 2ª ed. – **Márcia Regina Reggiolli**
 Política Públicas de Saúde Interação dos Atores Sociais – **Lopes**
 Puericultura - Princípios e Prática: Atenção Integral à Saúde da Criança 2ª ed. – **Del Ciampo**
 Receitas para Todos - Economia Doméstica em Tempo de Crise - Bagaços, Cascas, Folhas, Sementes, Sobras e Talos – **Sara Bella Fuks e Maria Auxiliadora Santa Cruz Coelho**
 Riscos e Prevenção da Obesidade – **De Angelis**
 Série Atualizações Pediátricas – **SPSP (Soc. Ped. SP)**
 Vol. 2 - Gastroenterologia e Nutrição – **Palma**
 Vol. 4 - O Recém-nascido de Muito Baixo Peso 2ª ed. – **Helenice PF. Costa e Sergio T. Marba**
 Vol. 6 - Endocrinologia Pediátrica – **Calliari**
 Vol. 8 - Tópicos Atuais de Nutrição Pediátrica – **Cardoso**
 Série Ciência, Tecnologia, Engenharia de Alimentos e Nutrição
 Vol. 3 - Fundamentos de Tecnologia de Alimentos – **Banuffaldi e Oliveira**
 Série Manuais Técnicos para o Restaurante Comercial
 Vol. 1 - Estrutura e Organização do Restaurante Comercial – **Lobo**
 Série Terapia Intensiva – **Knobel**
 Vol. 6 - Nutrição
 Sociedade Brasileira de Cirurgia Bariátrica – Cirurgia da Obesidade – **Garrido**
 Tabela Centesimal de Alimentos Diet e Light – **Ribeiro Benevides**
 Tabela de Bolso de Calorias para Dietas – **Braga**
 Tabela de Composição Química dos Alimentos 9ª ed. – **Franco**
 Tabela para Avaliação de Consumo Alimentar em Medidas Caseiras 5ª ed. – **Benzecry**
 Técnica Dietética - Seleção e Preparo de Alimentos - Manual de Laboratório – **Camargo**
 Tecnologia de Alimentos 2ª ed. – **Evangelista**
 Tecnologia de Produtos Lácteos Funcionais – **Maricé Nogueira de Oliveira**
 Temas em Nutrição - **SPSP – Cardoso**
 Terapia Nutricional do Paciente Crítico - Uma Visão Pediátrica – **Pons Telles**
 Terapia Nutricional Pediátrica – **Simone Morelo Dal Bosco**
 Transtornos Alimentares – **Natacci Cunha**
 Um Guia para o Leitor de Artigos Científicos na Área da Saúde – **Marcopito Santos**



www.atheneu.com.br



Facebook.com/editoraatheneu Twitter.com/editoraatheneu Youtube.com/atheneueditora

Bioquímica da Nutrição

2ª edição

JANE RIZZO PALERMO

*Formada em Engenharia de Alimentos pela
Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade
Estadual de Campinas. Doutora em Alimentos e Nutrição pela
UNICAMP. Professora Titular do Curso Técnico em Alimentos
do Colégio Técnico de Campinas, UNICAMP*

*EDITORA
ATHENEU*

*São Paulo — Rua Jesuíno Pascoal, 30
Tels.: (11) 2858-8750
Fax: (11) 2858-8766
E-mail: atheneu@atheneu.com.br*

*Rio de Janeiro — Rua Bambina, 74
Tel.: (21) 3094-1295
Fax: (21) 3094-1284
E-mail: atheneu@atheneu.com.br*

Belo Horizonte — Rua Domingos Vieira, 319 — Conj. 1.104

CAPA: Paulo Verardo

PRODUÇÃO EDITORIAL/ DIAGRAMAÇÃO: Fernando Palermo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Palermo, Jane Rizzo

Bioquímica da nutrição - 2a edição / Jane Rizzo Palermo. —
São Paulo: Editora Atheneu, 2014.

Bibliografia.

ISBN 978-85-388-0558-8

1. Bioquímica 2. Nutrição I. Título.

Índices para catálogo sistemático:

1. Bioquímica na nutrição 574

PALERMO, J. R.

Bioquímica da Nutrição – 2ª edição

©Direitos reservados à EDITORA ATHENEU — São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, 2014

Dedicatória

*A todos que se dedicam ao
saber e aprender.*

Agradecimentos

À Dante, por me permitir sempre renovar.

À Editora Atheneu, pela parceria.

E a Deus, pelas graças.

Prefácio da segunda edição

O conhecimento é uma arte que necessita ser cultivada, ampliada e experimentada a cada dia. A pesquisa e o ensino caminham no sentido de oferecer um amplo entendimento dos fenômenos que nos envolvem.

A linguagem simples e objetiva deste livro associada a conceitos básicos relacionados ao funcionamento do corpo humano com os alimentos permite ao aluno entender sob vários aspectos como, a bioquímica, nutrição e alimentação saudável podem determinar uma vida com mais critérios de escolha.

Como na edição anterior, o principal objetivo deste livro consiste em promover a compreensão de pontos importantes para se obter uma dieta saudável, controlar a ingestão de alimentos de acordo com a necessidade e biotipo de cada pessoa, entender as funções de digestão e absorção de cada um dos nutrientes presentes nos alimentos, de modo a atender as condições socioculturais e econômicas de uma população em estudo.

A ingestão e excreção de alimentos e nutrientes compõem orientação nutricional importante para ajustar o balanço e o planejamento dietéticos a ser adotados para a realização de atividade física de um indivíduo ou mesmo para a manutenção de suas atividades cotidianas.

Nesta edição novos capítulos foram acrescentados para melhor compreensão dos princípios e conceitos básicos que envolvem a nutrição humana, além de um capítulo dedicado a questões de estudo.

Assim, acredito que minha meta de oferecer conhecimento possa satisfazer aqueles que se exercitam em descobrir e aprender, desde o principiante até o estudante mais avançado.

Prefácio da primeira edição

Há muitos anos, no exercício de minha profissão acadêmica, sempre ensinando e aprendendo, venho sentindo falta de um livro como este. Meu interesse, ao escrevê-lo, foi o de oferecer em uma linguagem mais simples e objetiva os fenômenos que ocorrem com os alimentos em nosso corpo. Basicamente, o texto foi escrito para estudantes da área de saúde e técnicos em alimentos, apresentando informações úteis e de forma didática. Conta com exemplificação adequada, favorecendo, assim, sua plena compreensão.

O meu propósito foi auxiliar a percepção dessa máquina, chamada corpo humano, ligada aos alimentos. O objetivo é entender a alimentação em vários aspectos como bioquímica, nutrição, alimentação saudável, entre outros.

A alimentação é parte constitucional do nosso cotidiano e, talvez por esse ensejo, nem sempre recebe os cuidados merecidos. Contudo, uma má alimentação traz graves consequências à saúde. Por isso é imprescindível saber como controlar e adequar nossa dieta. E, para tal, é conveniente entender como os nutrientes presentes nos alimentos se ajustam às nossas necessidades.

Nos capítulos que se seguem exponho vários pontos importantes para se obter uma alimentação saudável. Estudar a função bioquímica de cada um dos nutrientes dos alimentos, desde a ingestão até sua excreção contribui para a escolha correta do alimento de acordo com as condições culturais, sociais e econômicas de uma dada população em estudo.

Este livro foi dividido de forma a desenvolver a compreensão dos princípios e conceitos básicos que envolvem a nutrição humana, pois cada tópico aborda o funcionamento do nosso corpo diante do alimento que compõe nossa dieta. Além disso, há dois capítulos inteiramente dedicados a assuntos interessantes. Um, aborda os alimentos funcionais e o outro as fibras, embora ainda tão poucos conhecidos, mas bastante discutidos pela comunidade em geral.

Espero que meus objetivos sejam atingidos e que o livro ofereça prazer em descobrir e aprender.

Sumário

- 1** A Ciência da Nutrição, **1**
- 2** O que São Nutrientes dos Alimentos?, **13**
- 3** Distribuição dos Caminhos Metabólicos, **19**
- 4** Carboidratos, **27**
- 5** Lipídeos, **67**
- 6** Proteínas, **89**
- 7** Fibras Alimentares, **123**
- 8** Vitaminas, **139**
- 9** Minerais, **147**
- 10** Alimentos Funcionais, **153**
- 11** Interação entre Alimentos e Drogas, **157**
- 12** Sugestão de Questões para Estudo, **163**
- 13** Bibliografia Consultada, **167**
- 14** Anexo, **171**

A Ciência da Nutrição

A Importância da Nutrição

Em 1785, a Marinha Inglesa sofreu uma grande baixa de seus marinheiros e oficiais durante as longas viagens no mar, em decorrência da deficiência de ácido ascórbico (vitamina C) na dieta da tripulação, provocando uma doença chamada escorbuto. Essa doença causa inflamações na gengiva, podendo levar à morte. O problema só foi encontrado quando suco de limão, rico em vitamina C, foi introduzido como parte da dieta desses soldados.

Essa foi a primeira vez que a alimentação foi considerada um instrumento de avaliação para assegurar a saúde de uma população. Mas somente em 1900 a nutrição passou a ser estudada como ciência.

Hoje, entretanto, a nutrição está relacionada à qualidade e à variedade dos alimentos que compõem a dieta e a atividade física praticada pelos indivíduos, a fim de garantir uma vida mais saudável, com maior longevidade e menores riscos de doenças, possibilitando maior controle de peso e adequação segura de nutrientes por indivíduo com acompanhamentos especializados.

A ciência da nutrição compreende o estudo de todos os mecanismos através dos quais os seres vivos recebem e utilizam os nutrientes presentes nos alimentos, desde a sua ingestão, para suprir funções vitais do organismo, como as energéticas, as reguladoras e as construtoras, até a excreção da fração não utilizada nas fezes e na urina.

A nutrição exerce ainda papel importante na melhora de espécies vegetais, isto é, na seleção de melhores variedades

2 • Capítulo 1

que contribuem para oferecer mais adequadamente as necessidades nutricionais do homem e dos animais.

A disponibilidade regional de determinados tipos de alimentos impõe o condicionamento e o desenvolvimento de hábitos alimentares que diferenciam os padrões alimentares entre os continentes, países e regiões. Com o desenvolvimento tecnológico e o intercâmbio entre povos essas diferenças puderam diminuir, possibilitando estabelecer novos instrumentos de medidas da qualidade de vida e bem estar dos diferentes grupos populacionais.

Aspectos Sociais e Culturais

Tanto o estilo de vida quanto os fatores culturais ou geográficos e a posição socioeconômica de uma determinada região influem na escolha e elaboração da dieta do ser humano e, portanto, no estado nutricional daquela população em estudo. Atualmente, a pressão social, a vida moderna e os meios de comunicação têm alterado de modo significativo as características da alimentação da população mundial, uma vez que muitas dessas pessoas se vêem obrigadas a se alimentar fora de casa e nem sempre satisfatoriamente.

A sociedade influi diretamente no sistema social através das reuniões sociais e de negócios, dos esportes, dos interesses de grupos políticos ou religiosos. Os alimentos deixaram de ser um meio de sobrevivência, mas passaram a ter forte importância nas atividades de prazer e lazer, de convivência social e de manutenção da saúde, de tal forma que certos hábitos e padrões alimentares espelham o poder socioeconômico do indivíduo e que são seguidos pelas camadas de populações de elevados níveis econômicos.

O estilo de vida adotado pelos indivíduos de uma população representa a adoção das crenças e descrenças, valores e atitudes específicos de cada pessoa, proporcionando o desenvolvimento de hábitos alimentares próprios. Às vezes, por motivos de tradição ou religião, esses hábitos chegam a constituir verdadeiros tabus e oferecem resistência muito grande à introdução de alimentos que confrontem com o costume local.

O homem geralmente escolhe seus alimentos muito mais pelos atributos que lhe dão prazer como a textura, o gosto, o aroma, a aparência ou mesmo a conveniência, e raras vezes pelo valor nutricional ou funcional que esse produto oferece. Daí a neces-

sidade de produzir alimentos cada vez mais atrativos, saborosos, práticos e econômicos, que atendem as mais variadas exigências de cada perfil de consumidor. O desenvolvimento tecnológico da indústria de alimentos acompanhado de suporte nutricional tem permitido a evolução desse interessante mercado.

A introdução contínua no mercado de grande número de produtos alimentícios com características atraentes ao consumidor exerce influência muito decisiva na mudança dos hábitos e padrões alimentares. Essa influência é marcante principalmente nas populações urbanas e de mais elevado nível de renda onde o fator custo não é limitante no consumo de determinados produtos.

O custo da alimentação é um outro motivo de mudança de hábitos alimentares, principalmente no consumo de carnes e de produtos novos e sofisticados que atingem somente as populações mais abastadas. O aumento do poder aquisitivo da população reflete instantaneamente na escolha dos alimentos que comporão a mesa da família.

Como Garantir a Boa Alimentação

Medidas governamentais de enriquecimento de alguns alimentos muitas vezes são necessárias com o objetivo de minimizar os efeitos da carência daqueles nutrientes responsáveis por suprir as necessidades protéicas e vitamínicas das populações mais carentes. Vários programas foram então criados para esse fim, como merenda escolar, programa de auxílio a gestantes e nutrízes, programa de alimentação alternativa, Fome Zero, Viva Leite, Bom Prato, entre outros, com o objetivo de diminuir a mortalidade infantil e a desnutrição.

A qualidade dos alimentos pode ser consideravelmente alterada se o método de preparo não for adequado, resultando na perda de seus componentes nutritivos. A cocção demasiada, as exposições prolongadas do alimento ao ar e ao calor, o armazenamento inapropriado podem causar perdas de vitaminas, oxidação e alterações irreversíveis nos constituintes dos alimentos.

Tem crescido muito o número de pessoas que se interessam pela educação nutricional e pela reeducação alimentar, e que se preocupam em oferecer e ensinar maneiras de se ter uma vida saudável, com baixo risco a doenças, contribuindo, dessa forma, para a compreensão da importância da alimentação, do estado nutricional, da saúde e do bem-estar geral do indivíduo e da população.

4 • Capítulo 1

A má nutrição ou desnutrição está relacionada com a dieta. Ainda que os alimentos sejam suficientes em quantidade, poderão não estar devidamente equilibrados em nutrientes. Assim, pode-se ter um excesso de calorias com deficiência protéica, vitamínica e de minerais.

Uma ingestão insuficiente de substâncias energéticas ou protéicas necessárias para manter as funções orgânicas, as atividades e o desenvolvimento poderá manifestar-se de várias maneiras, segundo a idade e o estado fisiológico do indivíduo. Essas manifestações vão desde uma ligeira diminuição no desenvolvimento ou enfraquecimento, causadas por déficit vitamínico e de minerais, até alterações mais graves como doenças nutricionais do tipo Marasmo ou *Kwashiorkor* provocadas por deficiência protéica e/ou calórica.

O *Kwashiorkor* é a desnutrição protéica e se caracteriza pela ingestão de dieta altamente rica em carboidrato e ausência de proteína. A doença se manifesta mais comumente em crianças e apresenta quadro clínico de cabelos sem ondulações e grisalhos, barriga grande, edemas e lesões cutâneas, podendo ser curada com a ingestão de alimentos protéicos.

O Marasmo afeta crianças e adultos mais idosos e se caracteriza por desnutrição protéico-calórica, com quadro clínico de inanição, redução de crescimento e ausência de edemas, próprio de situações de privação de alimentos protéicos e de carboidratos.

A Dieta Desejada

Para ser considerada nutritiva, uma dieta deve possuir as cinco características descritas abaixo:

1. *Adequação*: a dieta deve fornecer o suficiente de cada nutriente essencial, fibra e energia.
2. *Equilíbrio*: a dieta deve respeitar o balanço entre todos os nutrientes.
3. *Controle calórico*: deve fornecer energia suficiente para manter o peso apropriado.
4. *Moderação*: deve ser composta de alimentos que não sejam fonte em excesso de gordura, sal e açúcar.
5. *Variedade*: a dieta deve conter alimentos diferentes a cada dia.

Órgãos especializados, ligados ao governo ou a instituições de pesquisa, estudam e determinam as quantidades recomendadas de cada nutriente, com a intenção de avaliar a qualidade da dieta e as necessidades diárias de cada indivíduo, de acordo com sua idade, sexo, atividade física, nível sócio-econômico, padrões culturais e religiosos, situação geográfica, disponibilidade de alimentos e clima.

Com esse objetivo, em 1940 foi formado, nos Estados Unidos, o Comitê FND (*Food and Nutrition Board*), especializado em alimentação e nutrição com o propósito de estabelecer padrões seguros de ingestão de nutrientes.

Criaram, então, as RDAs (*Recommended Dietary Allowances*), que serviriam como meta para uma boa nutrição. As RDAs foram utilizadas, durante muito tempo, como padrões na formulação de dietas, na rotulagem de alimentos, na prevenção de doenças e na avaliação de ingestão dietética de grupos populacionais.

Em 1989, as RDAs passaram por revisão e um novo padrão de referência, as DRIs (*Dietary Reference Intakes*), foi desenvolvido em conjunto com o governo do Canadá para avaliação da dieta de toda a América do Norte. Essas recomendações de nutrientes são, até hoje, utilizadas para medir e avaliar as ingestões calóricas de dietas e nutrientes de uma pessoa, população ou grupos populacionais estabelecendo valores para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, determinando deficiências nutricionais, avaliando riscos de toxicidade e determinando limites para a ingestão de nutrientes.

As DRIs são formadas por um conjunto de quatro valores que correspondem a estimativas de ingestão de nutrientes utilizados para avaliar dietas de indivíduos saudáveis. Esses valores são assim descritos:

1. RDA (Ingestão Dietética Recomendada): objetivo de ingestão diária de nutrientes para quase todos os indivíduos saudáveis em um determinado estágio de vida e gênero.

$$RDA = EAR + 2 DP$$

$$DP \text{ (desvio padrão)} = 1,2 \text{ EAR}$$

2. AI (Ingestão Adequada): definido quando não há dados suficientes para permitir estabelecer EAR ou RDA, quando

6 • Capítulo 1

não se conhece a necessidade média diária do nutriente. Exemplo: fibra dietética, cálcio, flúor, vitaminas D e K, biotina, ácido linolênico e linoléico.

3. UL (Níveis de Ingestão Superior Tolerável): para nutrientes tóxicos. Indica o nível máximo tolerável. Quanto maior o valor, maior o risco de efeitos danosos à saúde. Exemplo: magnésio, iodo, fósforo, ferro, selênio, cálcio, vitamina C, Vitamina A.
4. EAR (Requerimentos Médios Estimados): necessidades médias diárias de nutrientes usados para estabelecer RDA para atender metade dos indivíduos saudáveis em um determinado estágio de vida e gênero.

Outro padrão usado para avaliar a quantidade de nutrientes no alimento em relação às necessidades individuais é o VD % (Valor Diário, em porcentagem). O VD % permite comparar a porcentagem de cada nutriente do alimento em relação à necessidade diária daquele nutriente na dieta. Esse valor está presente em todos os rótulos de alimentos e é calculado com base em uma dieta média de 2000 kcal/dia.

Todos os valores recomendados são baseados em evidências e indicam necessidades mínimas de ingestão ótima e segura para que haja concentrações adequadas de nutrientes no sangue, crescimento normal e redução de riscos de certas doenças crônicas e distúrbios alimentares.

Mesmo assim, as DRIs não atingem as necessidades de todos os nutrientes para todos os indivíduos e não podem ser usadas para restauração da saúde, pois sob essas condições as pessoas necessitam de ingestão maior de certos nutrientes, com restrição de outros.

Portanto, os problemas gerais de alimentação e estado nutricional das populações só poderão ser convenientemente estudados e solucionados pelo esforço conjugado de equipes trabalhando nas diversas áreas do conhecimento humano com o objetivo de proporcionar o bem-estar de uma população.

Como planejar a Dieta

Com a intenção de facilitar o gerenciamento da dieta por todo indivíduo, no início da década de 1990 o Departamento de Agri-

cultura dos Estados Unidos, após várias pesquisas, desenvolveu e publicou a Pirâmide dos Alimentos. Observaram que o desenvolvimento de uma pirâmide alimentar auxiliaria de forma correta o ser humano a se alimentar, promovendo uma vida mais saudável. A pirâmide alimentar apenas sugere quanto e quais alimentos devem ser consumidos todos os dias. Não é uma prescrição rígida, mas um guia geral para o indivíduo se basear para obter uma dieta saudável.

Como a pirâmide alimentar descrita para a população americana não representa a realidade brasileira, um novo guia, observando os hábitos da nossa população, foi proposto. A Pirâmide Alimentar Adaptada (Philippi, 1999) (Fig. 1.1) foi desenvolvida de acordo com a distribuição e a disponibilidade dos alimentos mais característicos dos hábitos brasileiros.

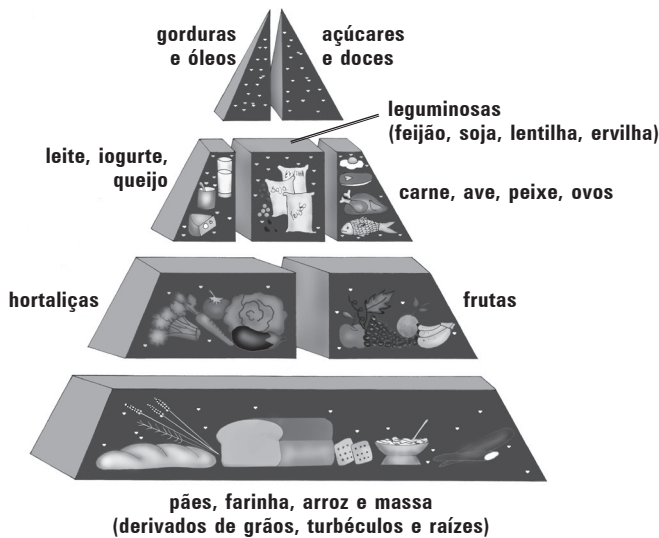


Fig. 1.1 – Pirâmide alimentar adaptada.

A distribuição dos alimentos na Pirâmide obedeceu à proporção geral dos nutrientes na dieta proposto pela OMS (Organização Mundial de Saúde) em 1990, de acordo com a atividade física desenvolvida por indivíduo (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 Proporção dos Nutrientes na Dieta*				
<i>Dieta (kcal)</i>	<i>Proteína</i>	<i>Carboidrato</i>	<i>Lipídeo</i>	<i>Indicação</i>
<i>Limites (%)</i>	<i>10 a 15</i>	<i>50 a 60</i>	<i>20 a 30</i>	
1600	15	61	23	Mulheres sedentárias Idosos
2200	14	58	27	Adolescente-feminino/ mulheres com atividade intensa Homens sedentários
2800	15	60	25	Adolescente-masculino/ homens com atividade intensa

* OMS/1990

A quantidade de energia recomendada para cada indivíduo depende de vários fatores, como: sexo, idade, peso, altura e atividade física. Assim, a dieta de 1600 kcal é calculada para mulheres com atividade física sedentária e adultos idosos; a de 2200 kcal pode ser aplicada para mulheres com atividade física intensa, crianças e adolescentes do sexo feminino e homens com atividade física sedentária; a de 2800 kcal é recomendada para homens com atividade física intensa e adolescentes do sexo masculino.

Além da necessidade do controle alimentar para o balanceamento da dieta, é importante que cada indivíduo tenha como hábito freqüente a prática de atividade física monitorada, contribuindo, assim, para o seu bem-estar e também para uma vida saudável, com menores riscos de doenças.

Também foram fixados limites para ingestão média de sal e fibras, de modo a contribuir com o bem estar pessoal e baixo risco a doenças (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 Limites para Ingestão Média da População*	
<i>Nutriente</i>	<i>Limite Máximo (g/dia)</i>
Fibra Dietética	27 a 40
Sal	# 6

* OMS/1990

A pirâmide alimentar é composta por quatro níveis, subdivididos em grupos que representam as classes dos alimentos que foram quantificados em porções de consumo diário, utilizando medidas caseiras, para facilitar sua compreensão e utilização. São eles:

- *A base:* fornece a energia.
 - Farináceos/Tubérculos e Raízes = ingerir de 5 a 9 porções por dia (150 kcal/porção = 1 pão de 50 g)
- *2º nível:* fornece minerais, vitaminas e fibras.
 - Hortalças = ingerir 4 a 5 porções por dia (30 kcal/porção = 2 colheres de sopa)
 - Frutas = ingerir 3 a 5 porções por dia (70 kcal/porção = 1 laranja)
- *3º nível:* fornece as proteínas, cálcio, ferro e zinco.
 - Leite e derivados = ingerir 3 porções por dia (125 kcal/porção = 1 xícara de leite) – queijo/iogurte
 - Carnes e ovos = ingerir 1 a 2 porções por dia (125 kcal/porção = 2 fatias de carne)
 - Leguminosas = ingerir 1 porção por dia (100 kcal/porção = 2 colheres de sopa) – feijão/fava/amendoim/soja/ervilha/grão-de-bico
- *O topo:* fornece apenas calorias.
 - Gorduras e óleos = ingerir 1 a 2 porções por dia (100 kcal/porção = 2 colheres sobremesa) – manteiga/margarina/óleo/azeite.
 - Açúcares e doces = ingerir 1 a 2 porções por dia (100 kcal/porção = 1 colher de sopa) – mel/açúcar.

Como Medir os Alimentos da Dieta

As porções de alimentos usadas para medida dos grupos alimentares da pirâmide podem ser encontradas na resolução da ANVISA (RDC 359 de 23 de dezembro de 2003). Assim, define-se:

- *Porção:* é a quantidade média do alimento que deveria ser consumida por pessoas saudáveis, maiores de 36 meses de idade, em cada ocasião de consumo, com a finalidade de promover uma alimentação saudável.
- *Medida caseira:* é um utensílio comumente utilizado pelo consumidor para medir alimentos.

10 • Capítulo 1

- *Unidade*: cada um dos produtos alimentícios iguais ou similares contidos em uma mesma embalagem.
- *Fração*: parte de um todo.
- *Fatia ou rodela*: fração de espessura uniforme que se obtém de um alimento.
- *Prato preparado semipronto ou pronto*: alimento preparado, cozido ou pré-cozido que não requer adição de ingredientes para seu consumo.

As medidas caseiras, estabelecidas pela RDC 359/03 da AN-VISA, foram detalhadas de acordo com os utensílios geralmente utilizados e sua relação com as porções correspondentes, assim como suas capacidades, em gramas ou mililitros (Tabela 1.3).

Tabela 1.3 Medidas Caseiras de Utensílios Domésticos			
Utensílio	Capacidade	Utensílio	Capacidade
Colher de sopa	10 a 20 g ou mL	Xícara de café	50 g ou mL
Colher de sobremesa	10 a 15 g ou mL	Copo	200 g ou mL
Colher de café/chá	5 g ou mL	Concha	90 a 100 g ou mL
Colher de servir	60 a 80 g ou mL	Escumadeira	60 a 100 g ou mL
Xícara de chá	150 a 200 g ou mL	Prato raso	22 cm de diâmetro

Na Tabela 1.4 apresentamos alguns exemplos de porções de alimentos distribuídos nos grupos alimentares da pirâmide para uma dieta de 2.000 kcal. Uma (1) porção de alimento de cada grupo corresponde a:

Tabela 1.4
Exemplos de Porções por Grupo de Alimentos, em Medidas Caseiras

<i>Grupos de alimentos</i>	<i>kcal</i>	<i>Exemplo de alimento</i>
Cereais, pães, Tubérculos e raízes	150	<ul style="list-style-type: none"> • 1 fatia de pão de fôrma ou 1 pão francês (50 g); • 30 g cereal pronto para comer; • ½ copo de cereal, arroz ou pasta.
Verduras e hortalças	30	<ul style="list-style-type: none"> • ½ copo de batata; • 1 copo de verduras cruas; • ½ copo de verduras cozidas; • ¾ copo suco de verdura.
Leguminosas	100	<ul style="list-style-type: none"> • ½ xícara de chá de leguminosas secas.
Frutas	70	<ul style="list-style-type: none"> • 1 maçã, banana, laranja, • ¾ copo de suco de fruta • ½ copo de fruta cortada, cozida ou enlatada.
Leite e derivados	125	<ul style="list-style-type: none"> • 1 copo leite ou iogurte; • 30 g queijo fresco ou ricota; • 60 g queijo processado.
Carne e ovos	125	<ul style="list-style-type: none"> • 100 g carne, ave ou pescado, cozidos; • 60 g mortadela; • 1 ovo.
Óleos e gorduras	100	<ul style="list-style-type: none"> • 1 colher de sopa de margarina ou de óleo.
Açúcares e doces	100	<ul style="list-style-type: none"> • 1 colher de sopa de açúcar refinado (25 g); • 2 ½ colheres de sopa de mel (37,5 g).

O Que São Nutrientes dos Alimentos?

Conceitos Importantes

Os alimentos são materiais que ingerimos, tais como: frutas, verduras, carnes, legumes, cereais, leite, ovos e seus derivados. Fornecem nutrientes e energia, além de transmitir satisfação emocional, estímulos hormonais e convívio social que contribuem para a saúde e bem-estar pessoal.

Os nutrientes são substâncias presentes nos alimentos que nosso corpo precisa para obter energia e material necessário para a manutenção e síntese dos novos tecidos do organismo, ou ainda, apresentar propriedades funcionais, oferecendo um impacto sobre a saúde, performance física ou mental do indivíduo. Esses nutrientes são proteínas, carboidratos, lipídeos, vitaminas, sais minerais, água e fibras além das substâncias, como pigmentos, fitoquímicos, antioxidantes, oligossacarídeos, relacionadas com a propriedade do “prevenir” ou “proteger contra” moléstias.

Os únicos nutrientes capazes de fornecer energia ao homem são os carboidratos, os lipídeos e as proteínas. Por isso são chamados de nutrientes energéticos. Os carboidratos e os lipídeos são essencialmente energéticos, enquanto que as proteínas desempenham papel mais importante na síntese de novos tecidos, sendo conhecidas como elementos construtores.

O alimento é a única fonte saudável de nutrientes para a manutenção da vida. Por isso, é recomendado que nossa dieta seja balanceada para repor esses nutrientes que formam nossa massa corporal. A composição corporal média de pessoas adultas saudáveis é mostrada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Composição Centesimal do Organismo Humano		
Nutriente	Quantidade	%
Água	Homem	57-65
	Mulher	46-53
	Média	65
Carboidrato		3
Proteína		12-15
Lipídeo		15-25
Minerais e Vitaminas		4

A quantidade e a disponibilidade de nutrientes nos alimentos determina o valor nutricional dos mesmos. A WHO/OMS (*World Healthy Organization*/Organização Mundial de Saúde) recomenda uma quantidade média diária de cada nutriente para suprir as necessidades de pessoas saudáveis. Os valores diários estabelecidos por quilo de peso corporal para cada nutriente são: 0,8 g de proteína; 4 a 6 g de carboidrato; 1 a 2 g de lipídeo.

As Funções Específicas dos Nutrientes

A água é o nutriente absolutamente essencial, participando de 60% a 65% do corpo humano. Suas funções compreendem a manutenção da temperatura corporal e a participação como reagente e solvente das reações que ocorrem dentro do organismo. Está presente nos alimentos que suprem grande parte da nossa necessidade diária.

Os sais minerais podem ter função estrutural ou reguladora no organismo. Dentre eles pode-se citar os exemplos:

- **Cálcio:** participa da formação dos ossos e dentes.
- **Ferro:** participa da formação da hemoglobina, cuja função é a de transporte de oxigênio dos pulmões até as células.
- **Iodo:** regula as funções da glândula endócrina da tireóide. A carência de iodo na alimentação provoca o hipotireoidismo, cujos sintomas são: organismo lento, batimento cardíaco lento, diminuição do número de inspirações por minuto, temperatura corporal mais baixa, grande ganho de peso, sonolência, cabelo quebradiço, pele seca, calafrios, intestino preso e crescimento da glândula tireóide (bócio).

Já o hipertireoidismo é consequência da produção aumentada de tiroxina, resultando em diminuição do hormônio tireoidiano, cujas causas são: aceleração do metabolismo basal, aceleração do coração, aumento da temperatura corporal, grande perda de peso, taquicardia, ansiedade, irritabilidade, tremores nas mãos, agitação, calor e suor excessivos e intestino solto. O aumento do tamanho da glândula é também chamado de bócio.

O aumento da quantidade de fibras na dieta diminui a energia fornecida pelos alimentos porque as fibras reduzem o tempo de absorção no intestino, pois aceleram o trânsito do alimento através do intestino. As principais fontes de fibras são os cereais integrais, farelos de trigo e aveia, frutas e verduras.

As fontes desses nutrientes nos alimentos são variadas. Os tecidos vegetais são ricos em carboidratos, lipídeos, vitaminas e sais minerais. Isto é, os cereais e as leguminosas são ricos em carboidratos e lipídeos, enquanto que hortaliças e frutas são fontes de vitaminas e sais minerais. Os tecidos animais são ricos em proteínas.

A Energia dos Alimentos

Uma das maneiras para se avaliar a qualidade da dieta é através do cálculo do valor energético dos alimentos, medido em calorias ou joules. Quanto maior a energia, isto é, caloria, tiver o alimento, maior é a quantidade de energia que ele poderá fornecer ao organismo.

Por definição, quilocaloria (kcal) é a quantidade de calor necessário para elevar em 1°C a temperatura de 1 kg de água de 15°C para 16°C. Por exemplo, o valor de 750 kcal representa a energia necessária para elevar a temperatura de 750 litros de água em 1°C.

O calorímetro (Fig. 2.1) é um aparelho usado para medir a quantidade de calorias fornecida por uma matéria ao se queimar. Dessa forma, pode-se avaliar a energia total ou bruta de um alimento, isto é, quantas calorias ele poderia nos fornecer caso conseguíssemos utilizar toda a energia contida no alimento. Define-se energia bruta de um alimento ou nutriente como sendo a energia liberada pela queima total do alimento ou nutriente em um calorímetro.

Se um alimento fornece 300 kcal, significa que a energia produzida pelas ligações químicas dos nutrientes que compõem esse alimento seria suficiente para elevar a temperatura de 300

16 • Capítulo 2

litros de água em 1°C. Então, o calor de combustão será o calor gerado pela queima total desse alimento.

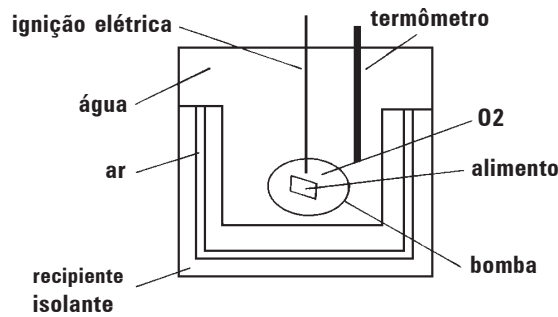


Figura 2.1 – Bomba calorimétrica.

Assim, ao se colocar 1 g de cada nutriente no calorímetro obtêm-se os seguintes valores de energia bruta para cada um dos nutrientes (Tabela 2.2).

Tabela 2.2	
Energia Bruta Fornecida pelos Nutrientes dos Alimentos no Calorímetro	
Nutriente	Energia Bruta (kcal/g)
Lipídeo	9,4
Carboidrato	4,15
Proteína	5,65

A maior quantidade de energia fornecida pelas gorduras é devido à maior proporção hidrogênio:oxigênio dos ácidos graxos em relação aos carboidratos. A relação entre hidrogênio e oxigênio é sempre maior que 2:1 nos lipídeos. Então, há mais hidrogênio que pode ser clivado e oxidado para gerar energia.

Observando-se a Tabela 2.2, seria esperado que, ao ingerirmos 1 g de carboidrato, de lipídeo ou de proteína, pudéssemos obter 4,15 kcal; 9,40 kcal e 5,65 kcal, respectivamente.

Entretanto, o calor de combustão, determinado por calorimetria direta, não é exatamente o mesmo quando comparado ao valor energético do alimento obtido pelo organismo.

No caso da proteína, o organismo não consegue queimar totalmente a proteína ingerida. Isso é explicado pela presença de aproximadamente 16% de nitrogênio na estrutura protéica. No organismo, o nitrogênio, através de combinação com o hidrogênio, é eliminado pela urina como uréia. A eliminação de hidrogênio dessa forma representa uma perda de aproximadamente 17% da energia da proteína obtida no calorímetro.

Assim, a energia metabolizável das proteínas é de aproximadamente 4 kcal/g, valor esse obtido através do cálculo: $5,65 - 16\% = 4,746 \text{ kcal} - 17\% \cong 4 \text{ kcal}$.

Define-se energia metabolizável dos alimentos e nutrientes como sendo a energia contida neste alimento ou nutriente que o organismo consegue metabolizar, ou seja, utilizar.

A distribuição ou aproveitamento da energia dos alimentos pelo organismo pode ser visto na Fig. 2.2.

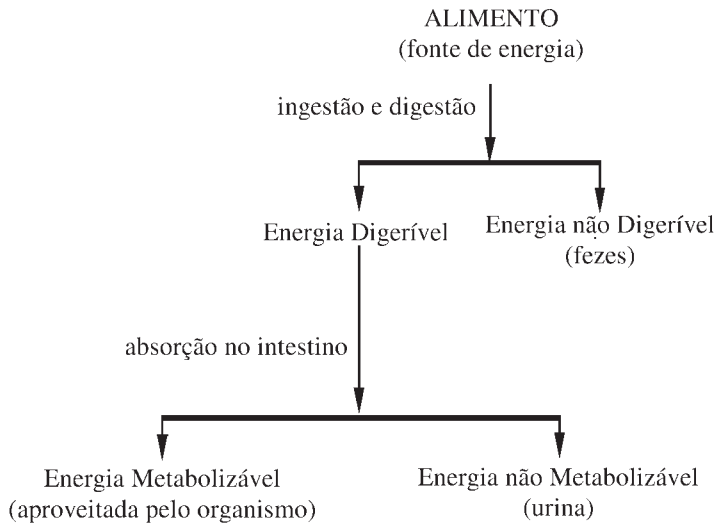


Fig. 2.2 – Distribuição da energia no organismo.

Um fator a ser levado em conta ao determinar o rendimento calórico final dos nutrientes é a eficiência do processo digestivo. O coeficiente de digestibilidade se refere à proporção de alimento ingerido realmente digerida e absorvida e que atende às necessidades metabólicas do organismo. O restante, não absorvido, é

18 • Capítulo 2

eliminado pelo trato intestinal. Os percentuais relativos de cada nutriente alimentar digerido e absorvido completamente são: 97% para os carboidratos, 95% para as gorduras e 92% para as proteínas (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 Distribuição da Energia e Coeficiente de Digestibilidade por Nutrientes dos Alimentos			
Nutriente	Energia Bruta (kcal/g)	Coeficiente de Digestibilidade (%)	Energia Metabolizável (kcal/g)
Lípídeo	9,4	95	9
Carboidrato	4,15	97	4
Proteína	5,65	92	4

O que É Balanço Orgânico

O balanço orgânico entre os processos de assimilação e de-sassimilação, isto é, entre o que é absorvido e o que é eliminado pela célula, recebe o nome de metabolismo.

As reações metabólicas compreendem as reações anabólicas, ou anabolismo, que incluem os processos de síntese; e as reações catabólicas, ou catabolismo, que envolvem processos de degradação de moléculas.

As reações metabólicas asseguram o crescimento, a maturação e a duplicação celular. Durante o período de crescimento rápido, o anabolismo é predominante. Na fase adulta, as reações ocorrem mais no sentido de manutenção das atividades básicas das células existentes. Isso significa que cada nutriente em excesso nas reações metabólicas será eliminado ou armazenado como tecido adiposo.

A deficiência ou carência de qualquer nutriente resultará em diminuição do crescimento ou desenvolvimento de certas doenças.

Distribuição dos Caminhos Metabólicos

As reações metabólicas acontecem algumas no citoplasma da célula e outras na mitocôndria.

Todos os animais e plantas possuem mitocôndria, com exceção dos glóbulos vermelhos maduros. As mitocôndrias são organelas com forma alongada e estreita rodeada por uma dupla camada de membranas, a interna e a externa, separadas por um espaço intermediário. A membrana externa da mitocôndria é composta de 50% proteínas e 50% lipídeos, tornando-a permeável a certas moléculas. Já, a membrana interna é uma das mais impermeáveis barreiras da célula, composta por 80% proteínas e 20% lipídeos, sendo permeável somente a oxigênio e água. Para atravessar esta membrana, algumas moléculas necessitam de carregadores.

Todas as membranas celulares possuem a mesma estrutura básica. Elas consistem de uma camada dupla lipídica de aproximadamente 5 nm de espessura, na qual as proteínas estão envolvidas. Algumas membranas apresentam carboidratos ligados a lipídeos e proteínas. A relativa proporção, de lipídeos, proteínas e carboidratos, é intrínseco a cada tipo de membrana dependendo do tipo de membrana.

Três classes de lipídeos podem ser encontradas nas membranas: fosfolipídeos, colesterol e glicolipídeos. Entre os fosfolipídeos encontram-se: fosfatidilcolina (lecitina), fosfatidilserina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol e esfingomielina. Os glicolipídeos possuem um carboidrato ligado ao lipídeo. A membrana lipídica possui uma cabeça hidrofílica (polar) e uma cauda hidrofóbica (não polar).

Algumas membranas protéicas estão muito próximas da camada lipídica (transmembrana) enquanto que outras

20 • Capítulo 3

estão fracamente associadas com a superfície lipídica (periférica). A membrana periférica necessita de um lipídeo para inseri-la na membrana principal. Já a transmembrana contém de 21 a 25 aminoácidos hidrofóbicos na região peptídica para atravessar a camada lipídica.

Do lado externo da membrana há carboidratos ligados covalentemente com proteínas e lipídeos: glicolipídeos e glicoproteínas.

Entre as duas camadas lipídicas há um fluido que permite que alguns lipídeos entrem e saiam da célula facilmente. Algumas proteínas transportadoras são utilizadas para o movimento de fosfolipídeos de um lado para outro da membrana. Colesterol é capaz de atravessar a membrana sem transportador.

As membranas e seus constituintes têm as seguintes funções:

1. Delimitar e encapsular a célula, protegendo-a do meio ambiente.
2. Regular e selecionar o transporte de íons e metabólitos, mantendo-os em concentração constante dentro a célula.
3. Receber e enviar sinais para dentro da célula.
4. Promover reações enzimáticas de catálise que incluem as reações do metabolismo energético, isto é, fosforilação oxidativa e fotossíntese.
5. Comunicação com a matriz extracelular e interação com outras células com o propósito de síntese celular.
6. Manter a forma celular e permitir seu movimento.

A proporção relativa de cada um dos nutrientes na membrana é particular de cada tecido ou célula. As células nervosas possuem porcentagem de lipídeos muito maior que de proteínas. O plasma sanguíneo tem proporção de lipídeos e proteínas quase equivalente. Já a membrana do fígado é composta por porcentagem ligeiramente maior de proteínas que lipídeos.

As enzimas para catalisar as reações de vários metabólitos estão localizadas nos diversos compartimentos da célula. Por exemplo, as enzimas envolvidas na síntese de ácidos graxos, a via das pentoses e a glicólise se encontram no citoplasma. Por outro lado, as enzimas que participam das reações de aproveitamento de energia pela célula como, ciclo de Krebs, β -oxidação e cadeia respiratória, estão localizadas na mitocôndria, a qual é chamada de matriz energética da célula.

As Enzimas

Enzimas são catalisadores biológicos cuja função é acelerar as reações químicas. A ordem e a progressão das vias metabólicas só acontecem porque um conjunto de enzimas está atuando de acordo com sua especificidade em relação ao substrato.

A atividade de uma enzima é a medida da sua ação catalítica, obtida pela determinação do aumento da taxa de reação sob condição definida e expressa como a mudança da concentração do substrato por unidade de tempo ou pela quantidade de enzima que promove o “turnover” por minuto.

A especificidade das enzimas está relacionada com o tipo de ligação e dos grupos ligados ao substrato. As enzimas digestivas possuem baixa especificidade para proporcionar aumento da digestibilidade dos alimentos.

Enzimas são nomeadas de acordo com o substrato que catalisam seguido do sufixo *ase*. Mas outras recebem nomes que não identificam seus substratos. Então, por convenção internacional, as enzimas foram classificadas e nomeadas de acordo com o tipo de reação catalisada. Quando o nome sistemático da enzima é longo ou confuso, um nome comum é adotado e conhecida como hexoquinase.

São conhecidas aproximadamente 2000 enzimas, cuja classificação foi elaborada de acordo com a sua especificidade e também do substrato. De acordo com esses critérios, as enzimas foram dispostas em seis grandes classes:

- *Classe 1 – Oxidoredutases*: catalisam a transferência de equivalentes de redução de um sistema redox para outro.
- *Classe 2 – Transferases*: catalisam a transferência de um grupo funcional de um substrato para outro.
- *Classe 3 – Hidrolases*: estão envolvidas na transferência de grupo, mas o aceptor é sempre uma molécula de água.
- *Classe 4 – Liases ou Sintases*: catalisam reações que envolvem a remoção ou formação de uma ligação dupla.
- *Classe 5 – Isomerases*: movem grupos dentro da molécula do substrato sem modificar a sua estrutura original formando moléculas isoméricas.
- *Classe 6 – Ligases ou Sintetases*: catalisam reações de ligações dependentes de energia. Essas reações estão sempre acopla-

22 • Capítulo 3

das à hidrólise de nucleotídeos trifosfatos (ATP). Envolvidas nas formações das ligações C-C, C-S, C-O, C-N.

Várias enzimas necessitam para sua atividade um componente químico adicional chamado cofator. O cofator pode ser um íon inorgânico, como Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , K^+ , Ni^{2+} , Se, Mo ou pode ser uma molécula orgânica complexa chamada coenzima, frequentemente derivada de vitaminas, como tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), niacina (vitamina B3), biotina, ácido pantotênico, ácido fólico. Outras enzimas requerem ambos, isto é, uma coenzima e um ou mais íons metálicos para sua atividade enzimática.

Em algumas enzimas, a coenzima ou íon estão fraca e transitoriamente associados à proteína. Mas em outras estão forte e permanentemente ligados, e nesses casos são chamados de grupo prostético, como por exemplo, a biotina das carboxilases.

Uma enzima completa e cataliticamente ativa, juntamente com sua coenzima ou metal, é chamada de holoenzima. Coenzimas e íons metálicos são estáveis no aquecimento, enquanto que a porção protéica de uma enzima, chamada de apoenzima, é desnaturada pelo calor. A apoenzima não mostra atividade biológica.

Algumas enzimas podem ainda ser usadas como importantes indicadores no diagnóstico de doenças. É comum o uso da medida do nível de atividade enzimática em várias condições patológicas. Geralmente a atividade enzimática aumenta durante o desenvolvimento da doença. No caso hepatite viral, a taxa de atividade da transaminase sérica aumenta consideravelmente antes do aparecimento da icterícia. A atividade da creatinaquinase é um indicador nos casos de infarte do miocárdio. O acúmulo de gordura no fígado em pessoas que trabalham com substâncias nocivas pode ser detectado pelo aumento da aspartame e alaninatransaminase.

A medida da quantidade de enzima no sangue pode ser afetada pela presença de ativadores ou inibidores de sua ação. A formação de produtos dá uma indicação da atividade da enzima, mas não necessariamente a quantifica. Métodos complementares são geralmente utilizados para diagnósticos suspeitos.

A velocidade de reação é dependente das alterações na concentração do substrato, temperatura e pH ou também pela presença de um inibidor. Em determinadas condições a reação enzimática pode ser inibida ou acelerada, reversível ou irreversivelmente. A regulação da velocidade das reações na célula dos organismos vivos é essencial para o controle dos processos metabólicos.

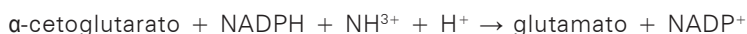
Compostos Importantes do Metabolismo

1. **Fosfatidilserina:** é um fosfoglicerídeo (ou glicerofosfolípídeo) formado a partir da esterificação de um ácido fosfatídico e um composto contendo um álcool e serina. São de natureza anfipática, isto é, possui uma cabeça hidrofílica formada pelo grupo fosfato, que se estende para fora da membrana. A parte hidrofóbica está associada grupos não polares da membrana, como glicolípídeos, proteínas e colesterol. Fazem parte da estrutura interna da membrana celular. É precursor da "síntese de novo" da fosfatidilcolina, cuja principal função é ser o componente do surfactante pulmonar. A deficiência de surfactante provoca colapso alveolar, causando a morte em % dos neonatais em países ocidentais ou adultos pelo afeito adverso de drogas imunossupressoras ou quimioterapêuticas. A serina é um aminoácido glicogênico, que entra no ciclo de Krebs como piruvato para gerar energia. É precursora da glicina através da reação catalisada enzima serinahidroximetiltransferase.
2. **Glicina:** é o mais simples dos aminoácidos. É o constituinte de colágeno (35%) e dos tecidos conectivos (tendões, ligamentos e cartilagens). Constitui o invólucro dos vasos sanguíneos, forma uma das camadas estruturais da pele, está presente nas substâncias extracelulares e favorece as ligações celulares dos tecidos. É um aminoácido importante em pacientes diabéticos porque pode ser convertido em glicose em taxa maior que em indivíduos normais, mas tem como consequência a maior eliminação de NH_3^+ nestes pacientes. A glicina também é utilizada para a síntese de porfirina do núcleo da hemoglobina, citocromos e clorofila, constituinte dos sais biliares (ácido glicocólico). Participa da síntese de creatina fosfato juntamente com outros dois aminoácidos, arginina e metionina. Nos casos de esquizofrenia atua como inibidor de neurotransmissor.
3. **Cisteína:** é um aminoácido sulfurado, polar, neutro, formada a partir do esqueleto carbônico da serina e de grupo "S" doado pela metionina. Duas cisteínas se ligam (ligação S-S) para formar cistina e encontrada em proteínas secretadas em fluidos extracelulares. Cistina faz parte da estrutura de insulina, imunoglobulinas e anticorpos. A cisteína entra no ciclo de Krebs via piruvato para formar acetil CoA. A cistina é encontrada na lactoalbumina, principal proteína do leite

humano e importante na alimentação de prematuros. Em crianças prematuras, a digestão da lactoalbumina é mais fácil, que por apresentarem maior deficiência enzimática, são menos capazes de catabolizar a caseína. A lactoalbumina forma coágulo leves e floculantes no estômago do bebê. As lactoalbuminas contêm mais cistina e menos metionina que a caseína e, por isso, são mais adequadas para crianças imaturas durante as primeiras semanas, já que elas apresentam deficiência da enzima cistationase (que converte metionina em cistina).

4. **Glutamina:** é um aminoácido neutro, glicogênico, isto é, entra no ciclo de Krebs via α -cetoglutarato, dispensável em condições normais e sintetizado por vários tecidos orgânicos. É o aminoácido mais abundante no sangue e pó pool de aminoácidos livres e intracelulares (70-80%). A concentração de glutamina no músculo esquelético é 30 vezes maior que a observada no sangue. É uma fonte energética importante para os macrófagos, linfócitos e demais células do sistema imunológico. Os macrófagos e linfócitos a utilizam de forma semelhante à utilização da glicose. A glutamina é considerada essencial em condições de hiper-catabolismo associadas à grandes cirurgias, queimaduras extensas, sepse e inflamações, em que existe balanço nitrogenado negativo e elevação das taxas de degradação muscular. A glutamina é fonte de energia para importante para os enterócitos e para a integridade e função da mucosa intestinal. Este aminoácido faz parte da terapia nutricional das patologias intestinais com o objetivo de preservar estruturalmente a mucosa das paredes do aparelho digestivo. É regulador da síntese protéica e uréia, transporta a amônia da periferia para os órgãos viscerais. É considerado também precursor da biossíntese de ácidos nucleicos. O epitélio intestinal de pessoas que apresentam a doença "Espru celíaco" não tolera glutamina do glúten, agindo como citotoxina. Isto interfere na maturação normal do epitélio e, assim, provocando danos na mucosa e causando alterações patológicas. A glutamina é um composto atóxico que passa livremente pela membrana celular carregando grupo amino ao cérebro, rins e fígado, sendo desaminada no fígado pela glutaminase, o NH_3^+ é convertido em uréia e eliminado na urina. É importante no ciclo glicose-alanina como carreador de NH_3^+ do músculo esquelético para o fígado. Por isso, sua concentração no

plasma sanguíneo é muito maior que de outros aminoácidos. Outra função é servir como precursor de nitrogênio em purinas, pirimidinas e NAD. Um desequilíbrio da reação de glutamatodesidrogenase, esgota o α -cetoglutarato, resultando em diminuição da oxidação celular e produção de ATP. Como o cérebro é vulnerável à hiperamonemia, porque depende do ciclo de Krebs para manter sua velocidade elevada e produção de energia, a alta concentração de NH_3^+ provoca tremores, borramento de visão, fala arrastada, coma e até morte.



Em condições acidóticas sua ação é a de regular o pH do sangue. Participa ainda da aminação da xantinamonofosfato para formar guanosinamonifosfato. Pode ter função anti-metabólica (glutamina antagonista) porque inativa enzima envolvida na utilização da glutamina e reduz o suprimento de DNA disponível para as células cancerígenas. As fontes alimentares disponíveis estão nas carnes, ovos, derivados do leite e soja.

Carboidratos

Os carboidratos constituem a principal fonte de energia para o homem na maior parte das regiões do mundo. Nas regiões menos desenvolvidas predomina o consumo de amido como alimento, enquanto nos países mais industrializados há mais consumo de açúcar.

Os carboidratos têm função de reserva de energia, como o amido e o glicogênio; ou estrutural, como a celulose; ou de fonte de energia, como a glicose. São encontrados nas folhas, galhos, raízes ou sementes das plantas. Por exemplo, no arroz, no trigo e na batata, o carboidrato presente é o amido, e em outros alimentos, como maçãs, laranjas e uvas, está presente o açúcar.

Os carboidratos compreendem um grupo grande de compostos, todos eles contendo os elementos químicos carbono, hidrogênio e oxigênio, podendo ainda existir em sua estrutura elementos como o enxofre, o fósforo e o nitrogênio. Sua representação química é $(\text{CH}_2\text{O})_n$.

Por definição, são polihidroxi aldeídos ($-\text{OHC}-\text{HC}=\text{O}$) ou polihidroxi cetonas ($-\text{HOHC}-\text{HC}=\text{O}-\text{HCOH}$), podendo variar em complexidade desde três átomos de carbono na molécula (triose) até polímeros de peso molecular elevado. Os carboidratos dividem-se em três grupos principais: monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos.

Classificação dos carboidratos

Monossacarídeos

Atualmente são conhecidos aproximadamente 70 monossacarídeos, sendo que 20 deles são naturais, e o restante,

28 • Capítulo 4

sintético. Dentre os naturais, os mais importantes são a glicose, a frutose, a galactose e a manose.

Os monossacarídeos são classificados de acordo com o número de átomos de carbono na molécula em trioses (3 carbonos); tetroses (4 carbonos); pentoses (5 carbonos); hexoses (6 carbonos) e heptoses (7 carbonos), estes em menor incidência na natureza.

Os monossacarídeos são açúcares simples que não podem ser hidrolisados a unidades menores em condições razoavelmente suaves.

A glicose está amplamente distribuída na natureza, aparecendo nas frutas, nos vegetais e no mel. Constitui produto final da digestão da maltose, do amido, da dextrina e é um dos produtos finais da digestão de sacarose e lactose.

A glicose é o carboidrato existente no sangue, sendo uma fonte imediata de energia para as células e tecidos corporais. O nível médio normal de glicose no homem é de 85 a 90 mg por 100 mL (ou 80 mg%) de plasma sanguíneo.

A frutose é o mais doce de todos os açúcares e é encontrado no mel e nas frutas. É um dos produtos finais da digestão da sacarose. No corpo humano, a frutose deve ser convertida em glicose para ser utilizada como fonte energética.

A galactose não ocorre sob forma livre na natureza. Apresenta-se em combinação com a glicose na molécula de lactose, em certos lipídeos complexos e em algumas proteínas. A galactose é o açúcar do sistema nervoso, utilizada para a síntese de galactolipídeos e cerebrosídeos.

Galactosemia é a doença provocada pela não conversão da galactose em glicose no organismo, por falta de enzima específica, a galactose é, então, depositada no fígado, tecido nervoso e olho, podendo causar retardo mental, catarata, ou ainda, gerar anões. Essa doença é evitada diminuindo-se a ingestão de leite.

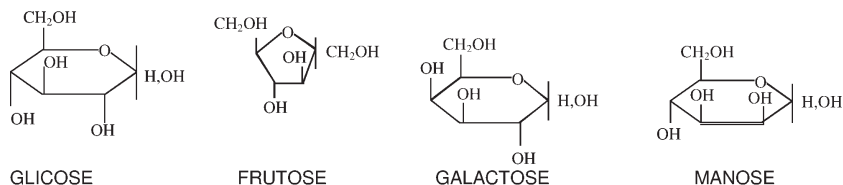


Fig. 4.1 – Estrutura dos principais monossacarídeos.

Oligossacarídeos

São carboidratos que, mediante hidrólise, produzem de duas a 20 moléculas de monossacarídeos. Entre eles há a maltose, a sacarose, a lactose, a rafinose (formada por duas moléculas de glicose e uma de frutose), a estaquiose (formada por duas moléculas de galactose, uma de glicose e uma de frutose) (Figura 4.2).

A sacarose é encontrada principalmente na cana-de-açúcar e na beterraba; a lactose é encontrada no leite; a maltose não é muito abundante na natureza, sendo obtida a partir da fermentação do amido, e a rafinose é encontrada na beterraba.

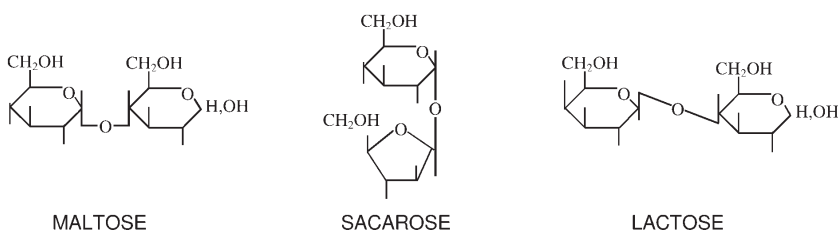


Fig. 4.2 – Estrutura dos principais oligossacarídeos.

Polissacarídeos

São formados pela combinação de um grande número de unidades de açúcares. Os três polissacarídeos mais importantes na nutrição são: amido, glicogênio e celulose.

O amido é a principal forma de armazenamento de carboidrato no vegetal, tendo função nutritiva na planta. Dois tipos de moléculas formam o amido: amilose, de cadeia reta de unidades de glicose ligadas por α -1,4; e a amilopectina, de cadeia ramificada de unidades de glicose ligadas por α -1,4 e α -1,6.

Os amidos não são solúveis em água fria, porém quando aquecidos, formam pastas. À medida que a temperatura da água se eleva, os grânulos de amido incham e a mistura torna-se viscosa. Essa propriedade do amido recebe a denominação de gelatinização.

As dextrinas são produtos resultantes da degradação parcial do amido, formadas tanto no processo de preparação de alimentos como também durante a digestão do amido. Se a hidrólise continua, as dextrinas produzem maltose e, finalmente, glicose (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 Propriedades Gerais dos Açúcares e dos Amidos	
<i>Açúcar</i>	<i>Amido</i>
Sabor doce, solúvel em água fria, formador de xarope, fermentável por microrganismos inibidor de microrganismos, carameliza sob aquecimento, formador de cristais	Sem sabor doce, insolúvel em água fria, gelatiniza sob aquecimento, aumenta a viscosidade

São duas as principais enzimas presentes no amido: α e β amilase. A α -amilase é uma endoamilase, que hidrolisa a cadeia linear da amilose nas ligações α -1,4 ao acaso, produzindo uma mistura de dextrina, maltose e glicose. A β -amilase, uma exoamilase, hidrolisa as cadeias lineares de amilopectina e amilose nas ligações α -1,4 a partir da extremidade redutora da cadeia, a cada duas moléculas de glicose, dando maltose. Porém, essa enzima não atua nas ligações α -1,6 da amilopectina.

A molécula do glicogênio é um polímero de cadeia ramificada com 6.000 a 30.000 unidades de glicose. Sob hidrólise produz moléculas de glicose. Tem função nutritiva nos animais.

A celulose é um polímero de cadeia reta constituída de unidades de glicose, não sendo absorvida pelo organismo humano porque não há enzimas capazes de digeri-la. É absorvida pelos ruminantes por ser degradada por bactérias. Para o homem, é importante para formar o bolo fecal. As melhores fontes alimentares de celulose são as frutas secas, os cereais de grão integral, as castanhas e as hortaliças frescas.

A classificação, a digestibilidade e o produto final da digestão dos carboidratos estão mostrados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Digestibilidade dos Carboidratos e Produtos de Digestão			
	<i>Carboidratos</i>	<i>Digestibilidade</i>	<i>Produto Final da Digestão</i>
Polissacarídeos	Celulose, hemicelulose	Indigerível	—
	Amido, dextrina, glicogênio	Digerível	Glicose
Oligossacarídeos	Sacarose	Digerível	Glicose + Frutose
	Lactose	Digerível	Galactose + Glicose
	Maltose	Digerível	Glicose + Glicose
Monossacarídeos	Glicose, frutose, manose, galactose	—	—

Funções dos Carboidratos para o Homem

A principal função dos carboidratos consiste em fornecer energia para o organismo na forma de glicose. Parte dessa glicose é usada para preencher as necessidades energéticas. Outra parte é depositada na forma de glicogênio no fígado e nos músculos como reserva de energia, e o restante é convertido em gordura e armazenado no tecido adiposo.

Os carboidratos são necessários para o metabolismo normal das gorduras, pois serão utilizados na oxidação energética, poupando as gorduras para esse fim e diminuindo os riscos de produção de corpos cetônicos.

Certos carboidratos desempenham algumas funções específicas no organismo, como: a celulose, que auxilia na eliminação do trato intestinal; a lactose, que facilita a absorção do cálcio e tem ação laxativa por servir como fonte de fermentação de bactérias no intestino; a ribose, que é um constituinte importante para a síntese de RNA; a desoxirribose, que participa da síntese do DNA; a ácido glicurônico, que combina com toxinas a fim de excretá-las.

Carboidratos Modificados

Alguns carboidratos sofrem modificações químicas para exercer função tecnológico/nutricional importante na indústria de alimentos dietéticos e integrar formulações de alimentos para fins especiais destinados a indivíduos que apresentam problemas de saúde como a diabetes.

São exemplos desses carboidratos modificados:

- *Sorbitol*: é o álcool da glicose de poder adoçante semelhante. É absorvido lentamente pelo organismo. Serve para conservar o nível sanguíneo de açúcar alto após as refeições. É utilizado para emagrecimento porque retarda a sensação de fome. É encontrado em frutas, vegetais e produtos dietéticos. Tem ação laxativa para doses de ingestão maiores que 50 g/dia.
- *Manitol*: é o álcool da manose. É pouco digerido e fornece metade da energia liberada pela glicose. A quantidade de ingestão máxima é de 25 g/dia.
- *Xilitol*: é o álcool da xilose, de doçura semelhante à sacarose. Sua velocidade de absorção é de um quinto em relação

a da glicose. É usado em alimentos para diabéticos e na prevenção de cáries em gomas de mascar.

Esses carboidratos modificados são classificados como edulcorantes e pertencem à classe dos polióis, cujo valor calórico é de 2,4 kcal/g. Possuem doçura relativa maior que a sacarose e, portanto, são utilizados em pequenas quantidades em produtos dietéticos.

Digestão dos Carboidratos

A digestão dos alimentos observa uma série de passos no aparelho digestório (Fig. 4.3) com a finalidade de formar uma mistura homogênea que será degradada para fornecer os nutrientes necessários ao organismo.

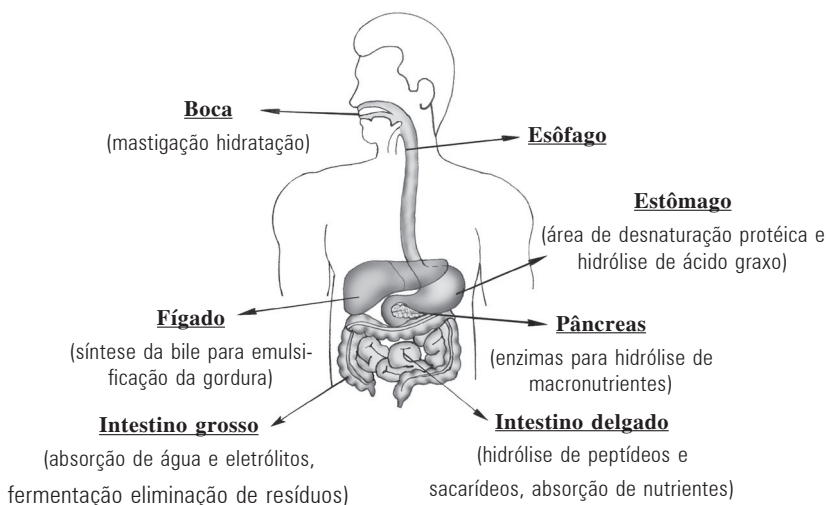


Fig. 4.3 – Aparelho digestório.

Os polissacarídeos digeríveis começam a ser hidrolisados na boca pela ação de uma enzima amilase chamada ptialina, presente na saliva, cujo pH é neutro (7,0). A saliva umedece o alimento para que ele possa passar pelo esôfago mais facilmente através de movimentos peristálticos e através da mastigação, os dentes trituram o alimento para melhor ação enzimática.

O esôfago é um ducto formado por anéis musculares na parede interna e tecido muscular longitudinal na parede externa. A

contração dos anéis e relaxamento dos músculos longitudinais provoca o estreitamento do esôfago, causando o peristaltismo, responsável por estimular a passagem do alimento da boca para o estômago.

A ptialina hidrolisa parte dos polissacarídeos ingeridos, ainda na boca, e sua ação cessa no estômago, onde essa enzima é inativada pela ação ácida do meio devido ao ácido clorídrico (HCl) ali presente. No estômago, de capacidade aproximada de 1,5 L, os alimentos são amassados pelas contrações musculares e misturados ao suco gástrico.

O pH do estômago, que está entre 1 e 2, impede a proliferação de bactérias que poderia ocorrer devido ao longo tempo em que o alimento permanece ali. A produção do suco digestivo é estimulada por um hormônio, a gastrina, controlado por estimulação nervosa. O suco gástrico é composto por água, enzimas e HCl. As enzimas produzidas são: pepsina, renina (em crianças e animais) e lipase gástrica.

Os polissacarídeos que não sofreram ação da ptialina iniciam sua hidrólise no intestino delgado, onde as amilases do pâncreas e do intestino, estimuladas pelo hormônio secretina, desdobram o amido, o glicogênio e a dextrina em maltose. O bicarbonato de sódio (NaHCO_3), produzido pelo suco pancreático (pH ao redor de 8,0 a 9,0), neutraliza o bolo ácido que veio do estômago e favorece a atuação da amilossina responsável pela degradação do amido em maltose. O suco entérico é produzido pela mucosa intestinal (pH em torno de 7,0) e contém as enzimas maltase, lactase e invertase, responsáveis pela degradação dos dissacarídeos em glicose, frutose e galactose (açúcares simples).

A passagem do alimento do estômago para o intestino é controlada por uma válvula chamada esfíncter pilórico, que se mantém fechada. Quando a esfíncter relaxa, pequena parte do bolo passa para o intestino. O contato do bolo acidificado com a mucosa intestinal provoca o fechamento da válvula, o que impede que mais quimo passe para o intestino. Quando o ácido é neutralizado, a válvula se abre novamente e mais alimento chega ao intestino. A velocidade de passagem do estômago para o intestino delgado é de 1 cm/min, levando cerca de três a 10 horas para chegar até a válvula ileocecal, gastando 1.500 mL de saliva por dia.

O intestino delgado é formado por três membranas: a externa, que é uma mucosa muscular; a intermediária, que é uma lâmina de tecido conectivo, formado por vasos sanguíneos e linfáticos,

34 • Capítulo 4

nervos, tecido muscular liso e glóbulos brancos; e a interna, formada por células epiteliais chamadas de vilosidades. O intestino compreende três sessões: o duodeno, de 0,3 metros de comprimento, responsável pela digestão do bolo alimentar proveniente do estômago; o jejuno, de um a dois metros de comprimento, onde ocorre a absorção da maior parte dos nutrientes, e o íleo, de 1,5 metro, onde se dá a absorção de água, minerais e vitaminas, além da fermentação de alimento não digerido pelas enzimas do organismo.

Polissacarídeos, como a celulose, não sofrem digestão, pois o organismo humano não possui a enzima celulase. No entanto, alguma digestão é conseguida no intestino grosso, onde as bactérias ali presentes realizam alguma hidrólise.

Algumas pessoas não conseguem, por doença congênita, sintetizar maltase, lactase ou invertase, não digerindo os respectivos dissacarídeos. Com isso, esses açúcares serão fermentados no intestino causando diarreia e às vezes levando à morte. O coeficiente médio de digestibilidade dos carboidratos é de 97%.

Alguns fatores podem provocar distúrbios digestivos acarretando menos absorção de nutrientes, como os antiácidos formados de $MgOH$ ou AlO_3 que combinam com fosfatos da dieta provocando sua eliminação nas fezes. Esse fato pode levar à fraqueza muscular, mal-estar, anorexia e convulsão.

Absorção dos Carboidratos

Os monossacarídeos produzidos pela digestão dos polissacarídeos estão prontos para serem absorvidos e transportados pela circulação aos diferentes tecidos do organismo. Há mais de 60 anos foi observado que certas hexoses são absorvidas muito mais rapidamente que outras. A velocidade em ordem decrescente de absorção das hexoses é: glicose, galactose, manose e arabinose.

Muitas células têm que contrariar a tendência natural da difusão, gastando energia no transporte. O transporte que demanda energia é denominado transporte ativo, provocado por impulsos nervosos gerados pela diferença de carga, o que facilita a entrada de glicose e aminoácidos na célula. Este transporte depende de proteínas especiais, as ATPases, que se combinam com a substância de um lado da célula, soltando-a do outro lado.

Na difusão facilitada, o transporte é feito por proteínas especializadas no reconhecimento da substância. Essas proteínas,

conhecidas como permeases, tornam a membrana da célula permeável à substância que atravessa. Este tipo de transporte é chamado de transporte passivo, sem gasto de energia e acontece a favor do gradiente de concentração.

Após vários estudos, estabeleceu-se que glicose e galactose são absorvidas por transporte ativo. A glicose é transportada em velocidade maior que a galactose porque tem maior afinidade com o transportador, o sódio. Diz-se que a absorção de um nutriente se processa por transporte ativo quando se verifica contra um gradiente de concentração, isto é, quando o nutriente se desloca de um local onde está em menor concentração para outro de maior concentração. Assim, no trato intestinal pode haver muito pouca glicose em seu material digerido, ao passo que na corrente sanguínea pode existir uma concentração de glicose muito maior e, assim mesmo, ocorrer absorção.

A frutose é absorvida pelo processo passivo, sendo instantaneamente convertida em glicose conforme atravessa o epitélio intestinal, e então passa a ser aproveitada pelo organismo. Quanto mais difícil for a transformação do monossacarídeo em glicose, mais demorada é a absorção. No transporte passivo não há gasto de energia a favor do gradiente de concentração. No transporte ativo há consumo de energia para que a absorção ocorra.

Os monossacarídeos absorvidos são levados para o fígado, e então a glicose é distribuída para todas as vias de utilização pelo organismo (Fig. 4.4).

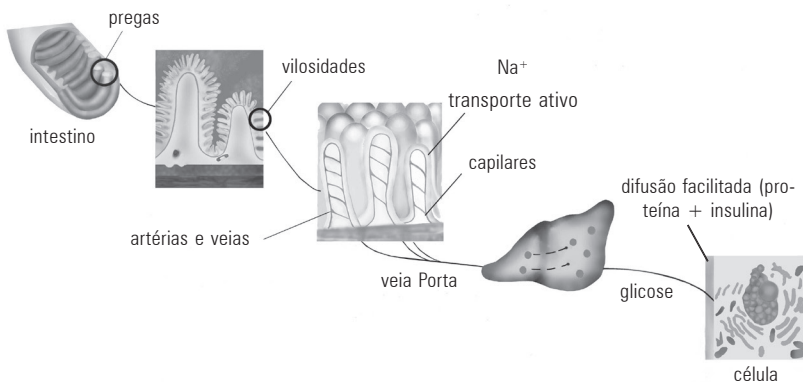


Fig. 4.4 – Absorção da glicose: do intestino à célula.

Uma das vias de utilização da glicose é a formação do glicogênio hepático e muscular. A glicose retirada do sangue pelas células é constantemente substituída pela glicose derivada do glicogênio do fígado de modo que o nível de açúcar no sangue se mantém dentro de limites bem reduzidos.

No homem, quando a glicose do plasma sangüíneo, no jejum, aumentar até 180 a 240 mg%, o açúcar aparecerá na urina. A condição de uma concentração de glicose no sangue acima da normal é conhecida como hiperglicemia, característica da diabetes quando, então, a urina passa a ser clara e em grande volume. A hipoglicemia indica uma concentração abaixo da normal. Essa situação acontece quando a insulina, hormônio que regula o nível sangüíneo, é produzida em quantidades excessivas pelo pâncreas. A hipoglicemia prolongada resulta na danificação funcional do tecido do cérebro pela falta de glicose para produção de energia, causando convulsões, coma e até a morte.

A quantidade normal de glicose no sangue para uma pessoa sadia, em jejum, pode variar de 70 a 90 mg% e após uma refeição, até 140 mg%. A insulina, proteína formada de 51 aminoácidos, é o único hormônio que tem a função de diminuir a taxa de açúcar sangüíneo, pela síntese de glicogênio e/ou promovendo o transporte de glicose para os músculos esqueléticos e do coração para as células do tecido adiposo. A insulina aumenta a taxa de utilização da glicose com os propósitos de oxidação, de glicogênese e de lipogênese.

Outro hormônio, o glucagon, de cadeia formada por 29 aminoácidos, é também responsável pelo controle da glicose sangüínea por estimular a glicogenólise, a gliconeogênese, além da liberação de insulina pelo pâncreas, aumentando a concentração de glicose no sangue.

A adrenalina, hormônio produzido pelo córtex da supra-renal, promove a hidrólise de glicogênio hepático e muscular, fornecendo glicose ao sangue. Atua diminuindo a liberação de insulina do pâncreas e aumentando a glicose sangüínea. Em situações de defesa, essa glicose serve como energia extra para responder às crises de raiva e de medo ou de fuga. A adrenalina aumenta a taxa de mobilização de gordura pela liberação de ácidos graxos livres das células adiposas para o metabolismo.

Nesse momento, no organismo ocorre:

- *Taquicardia*: mais sangue chega aos músculos permitindo uma fuga rápida.

- Aumento de glicose no sangue com aproveitamento de glicogênio para produção de mais energia.
- Aumento da frequência dos movimentos respiratórios obtendo mais oxigênio para as células oxidarem a glicose, com conseqüente aumento da temperatura corporal interna (calor).
- Contração dos vasos sangüíneos da pele provocando palidez porque mais sangue se dirige para os músculos. Em caso de ferimento há menor perigo de hemorragia.
- Contração dos músculos lisos dos pêlos, tornando-os eriçados.
- Diminuição da temperatura corporal externa.
- Aumento de temperatura corporal interna (calor).

O glicogênio muscular, ao contrário do hepático, não pode ser usado diretamente para formar glicose, pois no desdobramento do carboidrato do músculo é produzido ácido láctico, e não glicose. O glicogênio muscular é fonte de energia somente para os processos que ocorrem no interior das células musculares, enquanto que o glicogênio hepático serve como fonte de energia para qualquer tipo de célula do organismo. O total da capacidade de armazenamento de glicogênio pelo organismo é de aproximadamente 350 g, o equivalente a 24 horas de repouso, sendo distribuído como muscular (250 g) e hepático (100 g).

Dois hormônios, cortisol e hidrocortisol, aumentam a mobilização de lipídeos do tecido adiposo e de proteínas para serem utilizados como energia, controlando, dessa forma, a síntese de glicose.

Glicose: Utilização pelo Organismo

Vários processos envolvem a utilização da glicose no organismo (Fig. 4.6). Gliconeogênese é a síntese de glicogênio a partir de ácidos graxos e proteínas. Glicogênese é a síntese de glicogênio a partir da glicose. Glicólise é a oxidação da glicose para produção de energia. Glicogenólise é o catabolismo de glicogênio para produção de glicose.

Na síntese de glicogênio, a insulina ativa a glicoquinase no fígado para a fosforilação da glicose e, com isso, a glicose não pode difundir-se através da membrana celular para fora da célula. Na glicogenólise ocorre ação da glicose fosfatase que retira o fósforo da glicose permitindo sua difusão para o sangue.

38 • Capítulo 4

A célula viva constantemente realiza trabalho. A energia para esse trabalho provém da transformação de combustíveis como a glicose, de alto valor energético, em resíduos de menor teor energético (Fig. 4.5). Essa energia é armazenada num composto chamado adenosina trifosfato (ATP), que é utilizado para o trabalho celular em qualquer ser vivo, sendo esta a principal função da glicose no organismo. O organismo tem armazenado no músculo 85 g de ATP que poderão ser utilizados como reserva energética em atividades físicas de curta duração.

Há dois processos principais envolvidos na transferência de energia do combustível para o trabalho celular: a fermentação e a respiração aeróbica.

A fermentação ocorre na ausência de oxigênio. Há dois tipos de fermentação importantes: a alcoólica, usada no processamento de cerveja, por exemplo; e a láctica, utilizada na industrialização de leite e também pelo músculo para produção de energia em casos especiais.

Os produtos da fermentação alcoólica são: álcool etílico, gás carbônico e energia, expressos através da seguinte reação:



Os produtos da fermentação láctica são: ácido láctico e energia, podendo ser assim resumidos:



Na respiração aeróbica, a glicose é oxidada até gás carbônico, água e energia em presença de oxigênio, processo assim representado:

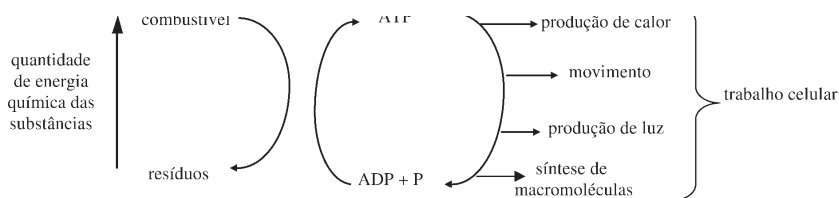


Fig. 4.5 – Utilização de energia para trabalho celular.

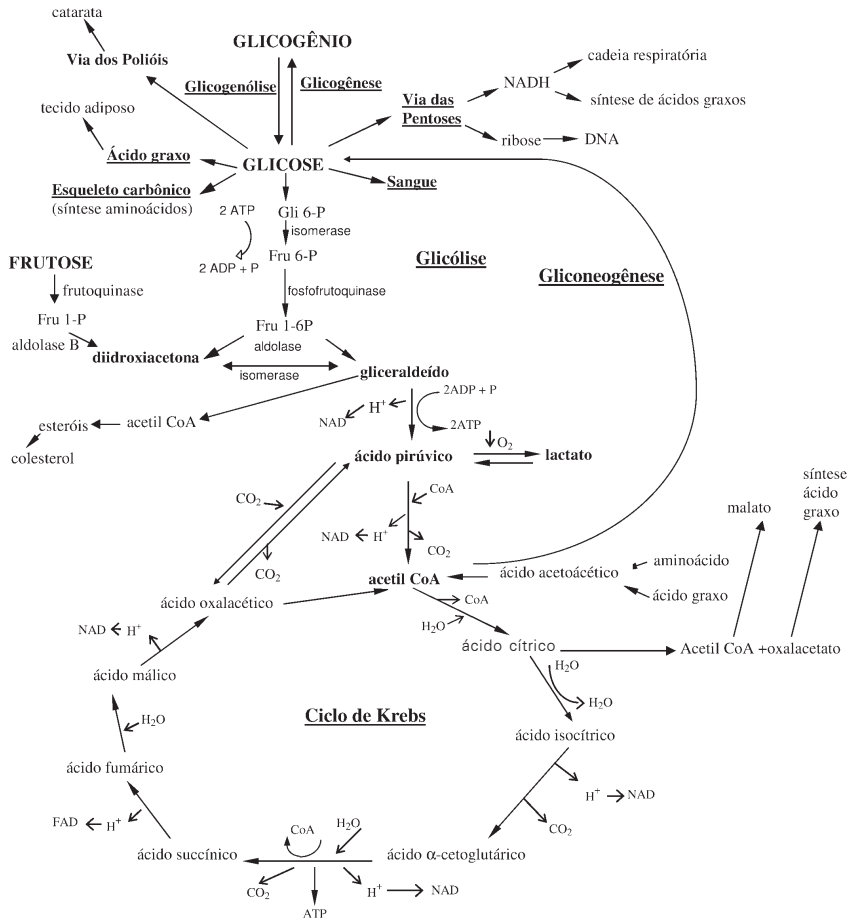


Fig. 4.6 – Esquema de distribuição da glicose no organismo.

Na maior parte dos tecidos, os processos de obtenção de energia a partir da glicose começam com a sequência de reações conhecidas como glicólise, que se dá em fase anaeróbica, no citoplasma da célula, cujo produto final é o ácido pirúvico. A molécula de glicose produz duas moléculas de ácido pirúvico cada vez que a glicólise acontece.

Cada ácido pirúvico propicia o início de outra série de reações, agora em fase aeróbica, na mitocôndria da célula, conhecida como ciclo dos ácidos tricarboxílicos ou ciclo do ácido cítrico ou, ainda, ciclo de Krebs, e que conduzem à degradação total da glicose até CO_2 , H_2O e ATP.

40 • Capítulo 4

No ciclo de Krebs, o ácido pirúvico é convertido em acetil Co-A que se combina com o ácido oxalacético produzindo o ácido cítrico e liberando a coenzima A (Co-A) para a próxima volta do ciclo. O ácido cítrico é convertido em ácido isocítrico. Esse, por sua vez, sofre descarboxilação e desidrogenação para formar o ácido α -cetoglutarico. Há nova descarboxilação e desidrogenação que produz outro composto do ciclo, o ácido succínico, além de haver a liberação de energia capaz de formar um ATP. Ocorre novamente desidrogenação formando o ácido fumárico, que se converte em ácido málico, e este, finalmente, em ácido oxalacético, através de desidrogenação, para assim completar o ciclo.

Uma via alternativa de oxidação da glicose é a via das pentoses usada para gerar nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD), que é uma coenzima de desidrogenase, composto formado de nucleotídeos combinados a vitaminas do complexo B. É chamado de aceptor intermediário de hidrogênio da cadeia respiratória, sendo importante na síntese de ácidos graxos e esteróides. Essa via também é responsável pela produção de ribose para a síntese dos ácidos nucleicos.

Papel Regulatório da Fosfofrutoquinase

Nas células musculares, a glicose é fonte de energia enquanto que, no fígado, é usada para glicogenólise e gliconeogênese.

A fosfofrutoquinase (PFK1) é uma enzima limitante da velocidade da glicólise e sua atividade é controlada pelo glucagon, citrato e ATP produzido, podendo redirecionar os metabólitos da glicólise para a via das pentoses. Este atalho é essencial para produzir NADPH, a qual é uma coenzima essencial para a síntese de ácidos graxos.

Na glicólise, a PFK1 catalisa a reação Frutose 6-P em Frutose 1,6-DiP consumindo 1 ATP. Esta reação é inibida pelo aumento de ATP produzido e estimulada por AMP e ADP.

Se a dieta é rica em carboidratos, toda glicose absorvida no intestino é fosforilada, aumentando a concentração de Glicose 6-P no fígado e tecido adiposo. Esta condição favorece a formação de Frutose 6-P e consequentemente, alta geração de ATP, até que sua concentração seja suficiente para inibir a ação da PFK1. Ocorre então o redirecionamento dos metabólitos da glicólise para a via das Pentoses. Nessa via, a glicose é oxidada até ribose 5-P com produção de $\text{NADPH} + \text{H}^+$ e CO_2 . NADPH é uma importante coenzima carreadora de hidrogênio na síntese de ácidos graxos no fígado, tecido adiposo e células mamárias.

Alta concentração de citrato e ATP inibem ação da PFK1 bloqueando a via glicolítica o que permite que a Glicose 6-P seja utilizada para síntese de glicogênio. A síntese de glicogênio é estimulada pela insulina que facilita a entrada de glicose nas células musculares e adiposas usando GLUT4 como transportador para atravessar a membrana plasmática. Esta via é importante para produzir reserva de glicose em situações de contração muscular. Já no fígado, o transportador GLUT2, responsável pelo transporte de glicose através da membrana, é independente da insulina para ser ativado. Entretanto esta inibição pode ser revertida pela Frutose 2,6 DiP, a qual estimula PFK1 produzindo efeito estimulante da glicólise.

No fígado, Frutose 2,6DiP estimula PFK1 mas inibe frutose 1,6 difosfatase, diminuindo a gliconeogênese. A concentração de Frutose 2,6 DiP é controlada pelo glucagon enquanto que no músculo esquelético é regulada pela concentração de Frutose 6-P.

A PFK2 é um potente estimulador alostérico da PFK1. Em situação de alta disponibilidade de glicose aumenta a concentração de Frutose 6-P. A PFK2 tem a função de catalisar a reação de fosforilação da Frutose 6-P em Frutose 2,6 DiP (frutose difosfato). Então a glicólise é novamente estimulada. Resumindo, a baixa concentração de Frutose 6-P favorece a glicólise e Frutose 2,6 DiP estimula PFK1.

No fígado, a Frutose 2,6 DiP inibe a 1,6 bifosfatase e bloqueia a gliconeogênese. A concentração de 2,6 Frutose DiP no fígado é regulada pelo glucagon, enquanto que no músculo é controlada pela adrenalina. Assim, durante o jejum, o glucagon causa aumento da concentração de Frutose 2,6 DiP, então PFK1 tem atividade diminuída, a inibição da frutose 1,6 difosfatase é aliviada pela Frutose 2,6 DiP, então a gliconeogênese é estimulada.

Por outro lado, em estado de super alimentação, a PFK2 é ativada para formação de Frutose 2,6 DiP a qual estimula PFK1 e, portanto a glicólise, proporcionado que mais piruvato seja direcionado para a síntese de ácidos graxos.

Papel do Citrato na Via Glicolítica

O citrato constitui a fonte de acetil CoA para síntese citosólica de ácido graxo. Como a CoA mitocondrial não pode atravessar a membrana da mitocôndria para o citosol, a porção acetil é transportada ao citosol na forma de citrato. Isso ocorre quando

42 • Capítulo 4

as concentrações de citrato e ATP na mitoncôndria são elevadas, inibindo da isocitrato desidrogenase, diminuindo a rota do ciclo de Krebs.

No estado de abundância de glicose, o aumento da concentração de citrato inibe a fosfofrutoquinase, controlando a velocidade da glicólise e, portanto, inibe a glicólise e favorecendo a gliconeogênese.

Ainda, ativa acetil CoA carboxilase, enzima limitante da síntese de ácido graxo. O consumo prolongado de dieta rica em carboidrato e pobre em ácido graxo causa aumento da síntese de acetil CoA carboxilase, aumentando assim, a síntese de ácido graxo. Dieta rica em ácido graxo ou jejum causam redução da síntese de ácido graxo porque inibe a síntese desta mesma enzima. A enzima sofre ativação pelo citrato fazendo com que protômeros se polimerizam.

Em meio ácido-citrato-glicose, a concentração de 2,3 BPG cai de 5 mmol/L para aproximadamente 0,5 mmol/L em 10 dias, quando o sangue para transfusão é estocado. Este sangue estará, portanto, incapacitado de fornecer oxigênio ao paciente transfundido, por causa da baixa concentração de 2,3 BPG. Embora os eritrócitos sejam capazes de restaurar 2,3 BPG em 24 a 48 horas, os pacientes severamente doentes podem ser seriamente prejudicados se transfundidos com este sangue estocado. Hoje, a redução da 2,3 BPG é prevenida pela adição de inosina (hipoxantina-ribose) ao sangue armazenado, cuja função é converter em BPG pela via das pentoses.

O citrato no citosol é desviado pela citratoliase para formar oxalacetato e acetil CoA, os quais são precursores da síntese de ácido graxo.

O citrato ativa acetil CoA carboxilase cuja função é regular a síntese de ácido graxo.

Quando a dieta é rica em carboidratos, a concentração de citrato na mitocôndria aumenta e a produção de ATP excede a demanda de energia. Então, a isocitrato desidrogenase é inibida e o citrato é levado para o citosol pelo carreador tricarboxilato. No citosol, o citrato é hidrolisado pela acetilCoA desidrogenase em oxalacetato e malonil CoA que segue para a via de síntese de ácidos graxos até triacilglicerol através da esterificação do 3 glicerol-P com 3 ácidos graxos. Altas taxas de ATP e citrato inibem ainda a PFK1 da via glicolítica inibindo a reação Glicose-6P a Frutose-6P. A Glicose-6P é desviada para a via das pentoses para a síntese de NADPH + H⁺ que será utilizado na via de sín-

tese de ácidos graxos no tecido adiposo e fígado. A ingestão de carboidratos em excesso promove desvio da glicose para a via das pentoses, sintetizando cada vez mais $\text{NADPH} + \text{H}^+$, o que incentiva a produção de ácidos graxos. Por consequência, haverá excesso de ácidos graxos e triacilglicerol armazenados nos tecidos adiposos e fígado.

As Enzimas Metabólicas

Todas as reações são controladas por enzimas específicas para cada reagente, catalisadas por cofatores, o que permite reações rápidas dentro da célula, acarretando menor energia de ativação. As vitaminas do complexo B, como a riboflavina e o ácido nicotínico, constituem as enzimas da cadeia respiratória, FAD (flavina adenina dinucleotídeo) e NAD, enquanto que o ácido pantotênico está presente na estrutura da coenzima A (CoA), que participa das reações de descarboxilação do ácido pirúvico e ácido α -cetoglutárico no ciclo de Krebs. A vitamina E participa do transporte de elétrons na cadeia respiratória.

Os aceptores de hidrogênio, NAD e FAD, têm a função de transportar os elétrons obtidos nas reações de desidrogenação do processo de oxidação da glicose para a cadeia respiratória, na mitocôndria. Na etapa de reação de succinato e malonato, o malonato inibe a ação da succinato desidrogenase, diminuindo o poder redutor do succinato para reduzir o NAD. Então, FAD será utilizado para receber os elétrons nesta fase, pois está fortemente ligado à enzima (grupo prostético).

A ausência das vitaminas tiamina, riboflavina, niacina e ácido lipóico, que participam da reação do ácido pirúvico a acetil-CoA, causa aumento da concentração de ácido pirúvico no sangue e, conseqüentemente, sua acidificação, aumentando o efeito tóxico nas células.

O açúcar pode ainda ser reduzido via poliol a sorbitol, mioinositol ou ácido ascórbico. Essa via produz galactosemia devido ao aumento de glicose e galactose na corrente sangüínea, além de diabetes. O aumento da concentração de sorbitol no sangue pode provocar o aparecimento de catarata, devido ao seu acúmulo no olho.

Cadeia Respiratória

As ligações fosfato do composto ATP equivalem a 8 kcal/mol. Havendo energia disponível, liberada pela fermentação ou

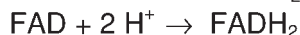
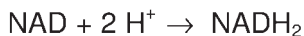
44 • Capítulo 4

respiração, o ADP se liga a um grupo fosfato cedido pela célula para regeneração do ATP. Por sua vez, o ATP cede energia para o trabalho celular, voltando a formar ADP + fosfato.

A desmontagem da glicose na respiração aeróbica pode ser resumida da seguinte forma:

- Quebra gradativa das ligações entre os carbonos com a saída de CO_2 (descarboxilação);
- Remoção dos hidrogênios da glicose (desidrogenação);
- Sua oxidação na cadeia respiratória, com liberação de energia captado pelo sistema $\text{ADP} + \text{P} \rightarrow \text{gATP}$ (fosforilação).

Na célula, substâncias como NAD, FAD e vários citocromos fazem o transporte dos hidrogênios liberados na glicólise e no ciclo de Krebs para cadeia respiratória.



Os hidrogênios removidos serão entregues ao oxigênio atmosférico nas cristas da mitocôndria para resultar água e liberar energia na forma de ATP ou calor.



Na mitocôndria, o NADH_2 nunca se liga diretamente ao oxigênio. Se essa reação fosse direta, a energia despreendida seria muito grande e, possivelmente, prejudicial à célula com sua queima total.

Os hidrogênios devem ser cedidos de “mão em mão” numa cadeia de aceptores intermediários, os citocromos, até chegar ao oxigênio (Fig. 4.7). Cada uma das reações intermediárias libera parte da energia total que é aproveitada pela célula para a síntese de ATP e calor.

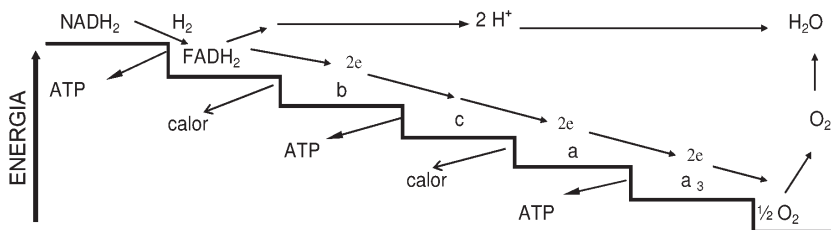


Fig. 4.7 – Produção de energia na cadeia respiratória.

FAD, flavina adenina dinucleotídeo, é formado por nucleotídeos combinados a vitaminas do complexo B. Os citocromos são substâncias com estrutura semelhante à hemoglobina e possuem ferro na sua molécula, com a função de carregar os elétrons de hidrogênio na célula.

O NADH_2 inicia a cadeia respiratória, isto é, os elétrons e prótons de hidrogênio são cedidos para o FAD, que se reduz a FADH_2 . Do FADH_2 em diante, apenas os elétrons passam para uma cadeia de citocromos. Durante esse trajeto os elétrons desprendem energia, passando de um nível energético mais alto para outro mais baixo. As moléculas de ADP aproveitam essa energia para armazená-la numa ligação fosfato, transformando-se, então, em moléculas de ATP. No final, os elétrons e prótons de hidrogênio são captados pelo oxigênio atmosférico (inspirado), formando uma molécula de água.

A produção de ATP na cadeia respiratória é chamada de fosforilação oxidativa. Na cadeia respiratória são formadas três moléculas de ATP. O resto da energia liberada, não suficiente para formar um ATP, se dissipa na forma de calor.

Na mitocôndria ocorrem inúmeras cadeias respiratórias. Se um tecido fosse privado de oxigênio, todos os citocromos ficariam na forma reduzida, isto é, carregados de elétrons, pois não teriam oceptor final de hidrogênio, o oxigênio. Isso causaria morte da célula por asfixia. O cianeto se constitui num veneno porque se combina com os citocromos, inutilizando-os para o transporte de elétrons.

Energia Extra

No Esforço Físico Intenso de Curta Duração

Energia extra é necessária em estados de esforço físico, de estresse ou de emergência. Os carboidratos são a principal fonte de energia para a realização desse tipo de exercício. Quando a demanda de energia no músculo é maior que a sua capacidade para regenerar ATP, o organismo pode seguir três caminhos:

- Utilização da creatina-fosfato armazenada no músculo, que é um composto rico em energia que regenera o ATP;
- Glicogenólise;
- Conversão de glicose em ácido láctico.

Na corrida de curta duração ocorre um aumento no consumo de oxigênio pela respiração, mas leva pouco mais de um minuto para chegar ao ponto máximo da velocidade de respiração. Nesse momento, a quantidade de energia produzida pela respiração é insuficiente para o consumo exigido pelo esforço. O Ca^{2+} que sai do retículo sarcoplasmático das fibras musculares e a adrenalina são os responsáveis por ativar a geração de ATP. Então, o ATP armazenado e a creatina-fosfato, presentes no músculo, liberam ATP para que a atividade física se prolongue por mais tempo. A reserva de glicogênio muscular é também oxidada na glicólise para fornecer energia (Tabela 4.3).

Tabela 4.3		
Rendimento de ATP pelo Metabolismo Anaeróbico		
Glicólise a partir da glicose	ATP formado	4
	ATP para iniciar a glicólise	2
Total		2
Glicólise a partir do glicogênio	ATP formado	4
	ATP para iniciar a glicólise	-1
Total		3

A velocidade de distribuição de oxigênio aos músculos é aumentada pelos pulmões, coração e vasos sanguíneos. Entretanto, os ATP, o armazenado e o da creatina-fosfato, terminam e a energia para consumo cai. Começa então a oxidação anaeróbica da glicose pela glicólise até piruvato, e quatro moléculas de ATP são formadas. Na desidrogenação da glicose, NAD é reduzido a NADH_2 . Esse, em presença de oxigênio, eNAD é então, regenerado. As reações de oxi-redução de NAD/NADH_2 acontecem na matriz da mitocôndria.

Como o oxigênio da respiração está sendo usado para captar os hidrogênios formados na glicólise, não há oxigênio para continuar o ciclo de Krebs. Com o déficit de oxigênio, ocorre a fermentação no músculo pela redução do piruvato a ácido láctico e simultânea regeneração do NAD, com produção de 2 ATP. O trabalho celular continua nos músculos pela via de produção de energia anaeróbica, conhecido como ciclo de Cori:



Desse modo, a glicólise continua, mas o ácido láctico acumula, causando a acidose láctica do músculo devido à hipóxia nos tecidos. O ácido láctico então difunde-se para fora da célula, aumenta sua concentração na corrente sangüínea, o que permite que as concentrações de hidrogênio e de ácido pirúvico na célula permaneçam baixas, promovendo a glicólise por mais tempo. A glicólise é fundamental à atividade física que requer um esforço máximo de até 90 segundos de duração.

No Esforço Físico de Longa Duração

Glicogênio e ácidos graxos são os principais combustíveis usados nesse tipo de atividade. Os ácidos graxos são provenientes de três fontes: 1) ácidos graxos mobilizados do tecido adiposo hormônio-sensitivo da lipase; 2) ácidos graxos do VLDL do plasma mobilizados pela lipoproteína lipase; 3) ácidos graxos formados pela hidrólise de triglicerídeos intramuscular.

Ambos, glicogênio e ácido graxo, formam acetil-CoA, que é oxidado no ciclo de Krebs gerando ATP na cadeia respiratória. Somente quando todo glicogênio muscular é terminado, o ácido graxo será utilizado como combustível. A grande quantidade de acetil-CoA formada restringe a atividade da piruvato desidrogenase que limita a glicólise e ajuda a conservar o glicogênio para a fase final de explosão do exercício.

A Fig. 4.8 ilustra a quantidade de oxigênio exigido para a realização de atividades de longa duração, como no caso dos maratonistas, que precisam de energia constante durante a prova sem desgaste das reservas de energia. Nos primeiros três minutos de exercício, o consumo de oxigênio é elevado, estabilizando em seguida, permitindo que o atleta continue a corrida por tempo indeterminado. Contudo, outros fatores influem na duração do exercício e restringem a sua prática.

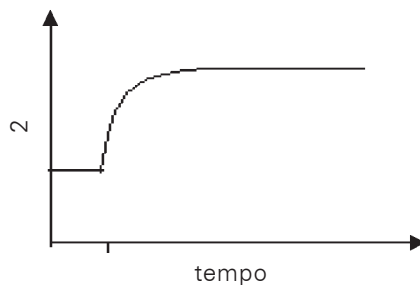


Fig. 4.8 – Gasto de energia na atividade física.

Define-se *steady state* como o estado de equilíbrio entre a energia necessária à sustentação muscular e as reações aeróbicas, significando trabalho por tempo indeterminado.

Indivíduos sedentários demoram mais para atingir o *steady state* em relação aos que praticam esporte. Isso é explicado pelo treinamento, que aumenta as adaptações celulares para gerar energia.

Quando o volume de oxigênio máximo (V_{O_2}) é alcançado, a liberação anaeróbica de hidrogênio da glicólise excede a oxidação pelo processo aeróbico no ciclo de Krebs. Então, o *steady state* não é mais mantido por muito tempo. Ocorre acúmulo de hidrogênio no músculo que reage com ácido pirúvico para formar ácido láctico, gerando ATP anaerobicamente. O treinamento aumenta a tolerância do organismo à formação do lactato.

Como a quantidade de oxigênio é insuficiente, a fadiga se instala, isto é, dor, cansaço e câibras são sentidos, provocados pelo acúmulo de ácido láctico no músculo. O indivíduo cansado cessa a atividade de esforço físico intenso.

A duração do exercício depende da quantidade de suor produzido e do esgotamento das reservas de nutrientes, glicose e glicogênio. Um atleta treinado tolera até 200 mg de lactato/100 mL de sangue, enquanto uma pessoa normal suporta somente até 100 mg de lactato.

Na Conversão do Ácido Láctico

Ao terminar o exercício, a velocidade da respiração não cai para a do repouso imediatamente. A respiração acelerada repõe a creatina-fosfato, a reserva de ATP e a energia necessária para a ressíntese do ácido láctico em glicogênio. Para isso, é necessário oxigênio.

A alta concentração de ácido láctico nos tecidos e no sangue induz reações de defesa no organismo, pois essa condição acarreta aumento da acidez das células, dificultando o metabolismo. Para minimizar os efeitos nocivos, uma parte do ácido láctico do músculo desprende-se dos capilares até a corrente sangüínea para ser transportada ao fígado. Então, o ácido láctico é oxidado a piruvato e convertido em glicose para depois ser armazenado como glicogênio. Esse processo é conhecido como glicogênese. A outra parte é oxidada no próprio músculo aerobicamente quando ocorre suprimento normal de oxigênio. A glicose assim formada está pronta para ser utilizada novamente pelo músculo.

A reposição da creatina-fosfato é muito rápida e ocorre no próprio músculo. A do glicogênio é mais demorada pelo fato de o ácido láctico ser levado para o fígado para a conversão. Essa conversão é conhecida como ciclo da alanina.

Depois de muito tempo haverá reposição do glicogênio muscular a partir da glicose, que será levada do fígado para o músculo pela circulação. O músculo cardíaco é o único que consegue converter o ácido láctico em ácido pirúvico para produção de energia no ciclo de Krebs (Fig. 4.9).

Em repouso, o corpo gasta 0,25 litros de oxigênio por minuto. Pessoas adultas consomem mais oxigênio, isto é de 3 a 4 mL

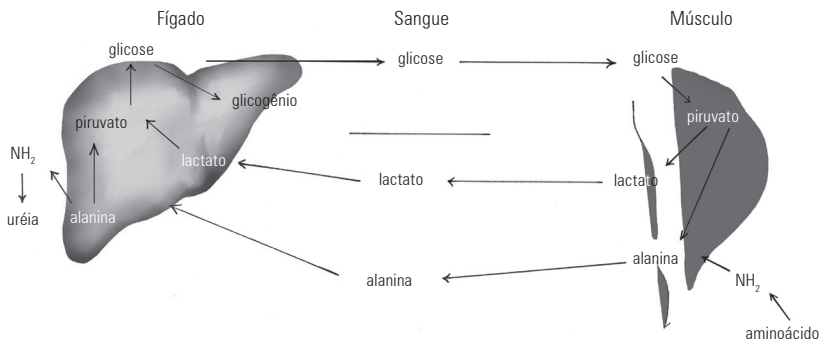


Fig. 4.9 – Ciclo de Cori e da alanina para produção alternativa de energia na atividade física.

O_2 /kg de peso/minuto. O coração bombeia 5 litros de sangue por minuto e a frequência cardíaca é de 60 batidas por minuto. Em exercício pesado, o corpo gasta 3 litros de oxigênio por minuto, o coração bombeia 30 litros de sangue por minuto e a frequência cardíaca é de 200 batidas por minuto. A quantidade de sangue que passa pelos pulmões aumenta aproximadamente seis vezes e, por isso, é necessário mais ar para fornecer o oxigênio necessário.

Quando a atividade muscular é intensa, ocorre aumento considerável da taxa de CO_2 no sangue, provocando redução do pH sanguíneo. O centro respiratório, então, é estimulado e descarrega impulsos nervosos. Assim, o ritmo respiratório intensifica-se, promovendo eliminação mais rápida de CO_2 e maior captação de oxigênio.

50 • Capítulo 4

A frequência máxima cardíaca para uma pessoa sadia é assim calculada:

$$\text{FC máx} = (220 - \text{idade}) \times \text{fator atividade}$$

No Mecanismo da Proteólise

Sendo o fator atividade variando de 70%, para nível limiar mínimo de atividade (sedentários), a 90%, nível máximo de atividade (atletas), da zona sensível de treinamento.

No exercício físico ambos, glicose e ácidos graxos são oxidados pelo ciclo de Krebs para produzir ATP. A produção excessiva de Acetil CoA se condensa com apropriado suprimento de oxalacetato. Apesar da concentração de oxalacetato ser mantida pelo ciclo de Krebs, ela deve ser complementada por um dos atalhos do ciclo, isto é, através do succinil CoA proveniente do catabolismo dos aminoácidos, isoleucina e valina.

Nos minutos iniciais da atividade física o corpo utiliza suas reservas de ATP e creatina fosfato. Mas esta via é muito ineficiente comparada ao rendimento da via aeróbica. E como o cérebro e as células vermelhas do sangue são incapazes de usar ácidos graxos como combustível, o glicogênio armazenado é sacrificado para suprir a energia fornecendo glicose para a cadeia respiratória.

No exercício intenso, a reserva de triglicerídeos no tecido adiposo é mobilizada para prover ácidos graxos livres para oxidação na cadeia respiratória, resultando em combustível para o músculo.

À medida que a atividade física continua o hormônio epinefrina-sensitivo é ativado e sinaliza para o fígado a liberação de ácidos graxos do tecido adiposo com o objetivo de serem oxidados para continuar o exercício. A lipólise é induzida pela adrenalina, a qual estimula a lipase hormônio-sensitivo para gerar ácidos graxos livres e glicerol e inibe a enzima acetilCoAcarboxilase para síntese de ácidos graxos. Esta reação é revertida pelo aumento dos níveis de insulina, quando há suprimento de glicose. No fígado, os ácidos graxos livres são metabolizados a corpos cetônicos, cuja concentração aumenta muito, o que permite sua subsequente oxidação na fosforilação oxidativa para gerar ATP para o músculo e cérebro.

Durante o exercício intenso, a β -oxidação compete com o ciclo de Krebs sendo inibida pelo excesso de NAD⁺ produzido. O excesso de acetil CoA produzido pela β -oxidação limita a glicólise. Então, a demanda de oxigênio torna-se insuficiente e o corpo ultrapassa sua capacidade de fornecer energia através da gordura.

Quando a velocidade de formação de corpos cetônicos é maior que sua utilização, seus níveis começam a aumentar na corrente sanguínea. Cada grupo carboxila dos corpos cetônicos perde um H^+ que permanecem circulantes na corrente sanguínea, diminuindo assim, o pH do corpo, resultando em acidose. Os produtos do catabolismo dos corpos cetônicos são excretados na urina (cetonúria).

O fígado não possui a enzima acetoacetato CoA transferase e, por isso, é incapaz de usar corpos cetônicos como combustível e nem produzir glicose a partir de ácidos graxos. Portanto a fonte de energia para continuar o exercício fica deficiente.

Uma vez que a reserva de glicogênio é depletada, o cérebro e as células nervosas utilizarão os corpos cetônicos originários de ácidos graxos para gerar ATP. Consequentemente, o uso de glicose como combustível do cérebro é consideravelmente reduzido. Como os ácidos graxos derivados de triglicerídeos não podem ser utilizados para gliconeogênese, as proteínas do músculo devem ser degradadas para manter a homeostase glicolítica, causando, entretanto, desgaste do músculo esquelético e contribuindo para diminuir a massa magra corporal.

Assim, para suprir a energia necessária para a manutenção do exercício ocorre proteólise das proteínas musculares, com a liberação de aminoácidos glicogênicos. Nesta condição, a atividade física pode ser mantida por mais tempo.

Certos aminoácidos podem ser utilizados completamente ou parcialmente para cetogênese, como exemplo, isoleucina, leucina, fenilalanina, tirosina, lisina e triptofano, originando acetil CoA. Outros aminoácidos, como alanina, cisteína, glicina, glutamato, glutamina, prolina, serina, aspartato, asparagina, arginina, metionina, valina, treonina, contribuem para gliconeogênese, originando piruvato ou um dos compostos intermediários do ciclo de Krebs.

Após a remoção dos grupos amínicos dos aminoácidos pela desaminação ou transaminação, os esqueletos carbônicos dos aminoácidos são convertidos em intermediários do ciclo do ácido cítrico ou em compostos relacionados, podendo dar origem a duas ou três moléculas diferentes. Durante o exercício físico, o músculo libera alanina, íons amônio e glutamina a taxas aceleradas. Os grupamentos amínicos dos aminoácidos são retirados do organismo através do ciclo da uréia, que é sintetizada no fígado e excretada na urina.

Quando o exercício termina e ocorre a reposição de nutrientes, a glicose é metabolizada no músculo a piruvato para depois ser reduzido anaerobicamente à lactato. O lactato é então transportado ao fígado para gliconeogênese e, portanto, síntese de glicogênio.

Nas Montanhas

A hemoglobina é um forte transportador de oxigênio para os tecidos. Mas ao chegar ao seu destino, a hemoglobina é persuadida a se desligar do oxigênio pela presença de íons H^+ nos músculos contraídos e também devido ao composto, intermediário da glicólise, o 2,3-BPG (2,3-bifosfoglicerato), que tem maior afinidade pelo oxigênio da respiração que a hemoglobina.

O 2,3-BPG possui efeito alostérico sobre a hemoglobina, isto é, desempenha sua capacidade de reversibilidade da forma ativa para a inativa, provocando diminuição da afinidade da hemoglobina pelo oxigênio com maior adaptação nas várias condições de disponibilidade de oxigênio.

Em circunstâncias de baixas concentrações de oxigênio, uma via alternativa de produção de energia na glicólise é desenvolvida (Fig. 4.10). Nessa via, duas enzimas, a bifosfoglicerato mutase e 2,3-bifosfolicerato mutase estimulam 3-fosfoglicerato para aumentar a concentração de 2,3-BPG. Quando isso acontece, não há produção de ATP, e a glicólise, nessas circunstâncias, tem menor rendimento energético.

Nas montanhas, onde o ar é rarefeito, seus habitantes usam essa via para produzir energia, com menor liberação de hidrogênio

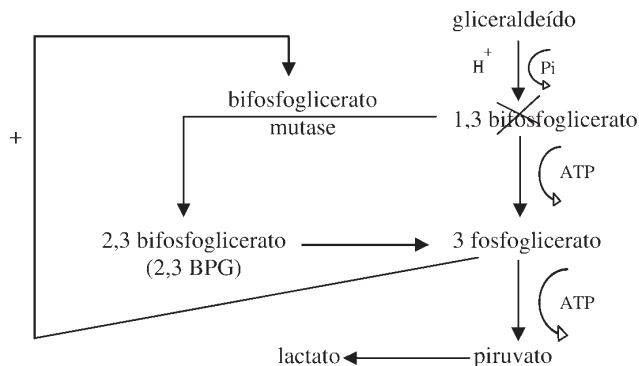


Fig. 4.10 – Obtenção de energia em grandes altitudes.

livre na célula. Quando pessoas acostumadas a viver em baixas altitudes se deslocam para lugares de altitudes mais elevadas, sofrem desconforto respiratório e, então, sentem fadiga e falta de ar ao praticar qualquer tipo de esforço físico.

Entretanto, em poucos dias essas pessoas se adaptam ao meio por causa do aumento da concentração de 2,3 BPG nas células vermelhas, o que permite a obtenção de oxigênio apesar da sua baixa disponibilidade no ar das montanhas. Ao retornarem para as baixas altitudes, a concentração de 2,3 BPG nessas pessoas volta rapidamente ao normal, uma vez que ela tem uma meia vida de 6 horas.

A hemoglobina fetal (formada por duas cadeias α e duas cadeias γ) tem menor afinidade pela 2,3-BPG que a hemoglobina de adultos (formada por duas cadeias α e duas cadeias β) e, portanto, maior afinidade pelo oxigênio. Conseqüentemente, há maior facilidade para as trocas gasosas da placenta entre mãe e filho.

Funções da 2,3 BPG

1. *Efeito da 2,3 BPG sobre a afinidade com o oxigênio:* a 2,3 BPG é reguladora da ligação hemoglobina-oxigênio (Hb-O_2). É o fosfato mais orgânico mais abundante nas hemáceas, onde sua concentração é semelhante a da hemoglobina. A 2,3 BPG diminui a afinidade da hemoglobina pelo O_2 , através de sua ligação à desoxiemoglobina (Hb-2,3 BPG): $\text{Hb-O}_2 + 2,3 \text{ BPG} \rightarrow \text{Hb-2,3 BPG} + \text{O}_2$. Esta afinidade reduzida permite que a hemoglobina libere O_2 eficientemente nas pressões parciais dos tecidos.
2. *Resposta dos níveis de 2,3 BPG à hipóxia ou anemia:* a concentração de 2,3 BPG aumenta nas hemáceas em resposta à hipóxia, causada, por exemplo, no enfisema pulmonar ou em altitudes elevadas. As pessoas nativas das grandes altitudes têm tamanho do tórax aumentado, tamanho do corpo diminuído e coração maior, necessário para bombear sangue por um sistema capilar grandemente expandido. Nesses indivíduos, a liberação de O_2 é maior devido à maior quantidade de hemoglobina, isto é, a quantidade de sangue arterial é maior e a de sangue venoso é menor do que de habitantes de planícies. Na aclimação, o débito cardíaco frequentemente aumenta até 30% imediatamente após uma pessoa ascender a uma altitude elevada, mas então diminui em direção ao normal quando o hematócrito aumenta,

de modo que a quantidade de oxigênio transportado para os tecidos permanece em torno do normal. Na anemia, a concentração de 2,3 BPG é elevada e menos hemáceas que o normal estão disponíveis para suprir as necessidades de oxigênio corporal. Níveis elevados de 2,3 BPG diminuem a afinidade da hemoglobina pelo oxigênio, permitindo maior descarga de oxigênio nos capilares dos tecidos.

3. *Hemoglobina fetal*: a hemoglobina fetal (HbF) tem maior afinidade pelo oxigênio que a hemoglobina adulta (HbA). Isto porque a HbF liga-se fracamente a 2,3 BPG devido à ausência de aminoácidos positivos na HbF. Esta característica facilita a transferência de oxigênio da circulação materna através da placenta para as hemáceas do feto.
4. *Sangue transfundido*: a baixa concentração de 2,3 BPG em sangue estocado dificulta a liberação de oxigênio da hemoglobina para os tecidos dos pacientes.
5. *Adaptações dos seres vivos em caso de mutação celular com deleção da produção de 2,3 BPG*: a ausência de 2,3 BPG nos seres vivos: neste caso, o oxigênio estaria totalmente ligado à hemoglobina e sua liberação talvez fosse tão lenta que a velocidade metabólica não poderia resistir. O processo de oxidação da glicose até CO_2 e H_2O estaria seriamente comprometido, uma vez que não haveria oxigênio totalmente livre e disponível para receber H^+ proveniente da desidrogenases. Com isso, a produção de energia (ATP) seria afetada, diminuindo consideravelmente a capacidade da célula de manter suas atividades. Sem oxigênio livre, a célula morreria por asfixia, pois com o aumento da concentração de H^+ , a célula sofreria acidificando, alterando o pH celular para a atividade enzimática ideal. A síntese de NAD^+ e NADP^+ estaria comprometida e o carregamento de H^+ até a cadeia respiratória seria deficiente. Uma adaptação remota possível seria o desvio da oxidação da glicose, via glicolítica, até piruvato e então, lactato, em fase anaeróbica, no citosol. Esta via exige menos oxigênio livre mas, em contrapartida, produz menor quantidade de energia (ATP). Nestes novos seres adaptados, talvez houvesse uma involução da mitocôndria: diminuição de seu tamanho ou até mesmo sua ausência. Isto porque a cadeia respiratória (aeróbica) não mais teria função na ausência de oxigênio livre. Se isso acontecesse, as enzimas sintetizadas na matriz

mitocondrial para a oxidação do piruvato (ciclo de Krebs), aminoácidos e ácidos graxos seriam eliminadas. Como o ciclo de Krebs não ocorreria, toda a produção de energia para a célula estaria restrita ao ciclo de Cori. Mas, com o ciclo de Cori, há aumento da concentração de lactato para níveis maiores que 5 mmol/L, provocando acidose láctica e o pH do sangue cai de 7,35 – 7,45 para 7,0 ou menos. Este ácido láctico acumulado teria então que ser removido da corrente sanguínea pelo fígado para evitar a hiperlactatemia. Se no fígado não houver disponibilidade de oxigênio suficiente, este lactato não será oxidado a piruvato. A gliconeogênese estará comprometida. Na célula não haverá reserva de glicogênio e a produção de ATP será apenas emergencial, com acidificação celular provocada pelo acúmulo de ácido graxo. Em células normais, na via lactato, NAD^+ é reduzido a $\text{NADH} + \text{H}^+$ pela gliceraldeído 3 fosfato desidrogenase. Em presença de oxigênio, $\text{NADH} + \text{H}^+$ vai para a cadeia respiratória, é oxidado e NAD^+ é recuperado, para ser reutilizado. Se na célula não está ocorrendo síntese de 2,3 BPG para liberação de oxigênio da hemoglobina, NAD^+ não poderá ser regenerado pela lactatodesidrogenase para continuar a via glicolítica. A lactatodesidrogenase estimula $\text{NADH} + \text{H}^+$ ser oxidado a NAD^+ . Como a glicólise terá ponto final em piruvato, não haverá conversão para acetil CoA citosólico

Balanco Energético da Respiração

Nas células do fígado e do coração são produzidos 38 ATP, enquanto nas células nervosas e musculares apenas 36 ATP são obtidos por mol de glicose. A menor quantidade de ATP produzido é devido à perda de hidrogênio para atravessar a membrana da mitocôndria (Tabela 4.4).

Em laboratório, a combustão da glicose libera 686 kcal/mol no calorímetro. No processo respiratório, a energia utilizável que a célula obtém é de aproximadamente 304 kcal/mol ($38 \text{ ATP} \times 8 \text{ kcal/mol}$). Isso quer dizer que a célula consegue extrair 45% da energia existente na glicose, na forma de ATP.

Uma molécula-grama de glicose (1 mol) = 180 g, então 686 kcal/180 g é aproximadamente igual a 4 kcal/g. No organismo, a energia produzida é distribuída na forma de ATP e calor.

Tabela 4.4 Balanço Energético da Oxidação da Glicose		
Glicólise	4 ATP – 2 ATP (de ativação)	2 ATP
	2 NADH ₂ x 3 ATP	6 ATP
Rendimento total da glicólise	8 ATP	
Ácido pirúvico	acetil Co-A : 1 NADH ₂ x 3 ATP	3 ATP
	3 NADH ₂ x 3 ATP	9 ATP
Ciclos de Krebs	1 FADH ₂ x 2 ATP	2 ATP
	1 ATP	1 ATP
Rendimento total do ciclo de Krebs		15 ATP
Rendimento total da transformação de duas moléculas de ácido pirúvico (2 x 15 ATP)		30 ATP
TOTAL de ATP produzidos por molécula de glicose		38 ATP

Mecanismo de Eliminação de CO₂ do Organismo

O sangue arterial leva aos tecidos o oxigênio proveniente da inspiração através das hemáceas, enquanto o sangue venoso traz o CO₂ dos tecidos para os pulmões, principalmente através do plasma sangüíneo, para ser eliminado ao ar atmosférico na forma de bicarbonatos (Tabela 4.5). Um homem de 70 kg respira, em repouso, aproximadamente, 25.000 vezes por dia. Isso significa que ele inspira 1.700 litros de ar, que corresponde a 360 litros de oxigênio por dia (em média, 0,25 mL O₂/minuto).

Tabela 4.5 Composição dos Gases da Respiração nos Alvéolos		
Ar	O ₂ (%)	CO ₂ (%)
Inspirado	21	0,03
Expirado	14	5

Apenas uma parte de CO₂ (cerca de 1/5 do total) se liga à hemoglobina (Hb), formando a carboemoglobina (HbCO₂). Outra pequena parcela permanece no plasma. A maior parte, porém, é carregada na forma de íon bicarbonato (HCO₃⁻), dissolvido no plasma (Fig. 4.11).

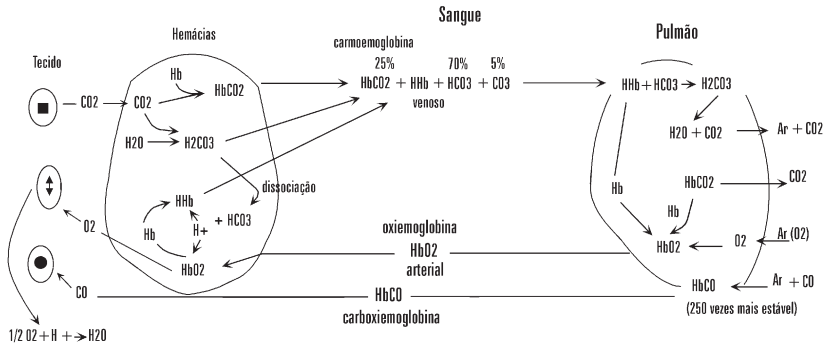


Fig. 4.11 – Esquema da troca de gases nos tecidos, no sangue e no pulmão.

A hematose, isto é, o transporte de gases no organismo, se apresenta em valores aproximados:

- 5% CO_2 está dissolvido no plasma,
- 25% CO_2 está combinado à hemoglobina (carboemoglobina),
- 70% CO_2 está sob a forma de íons bicarbonatos no plasma.

O CO_2 , dentro das hemáceas, reage com a água, formando ácido carbônico (H_2CO_3) sob a ação catalisadora da enzima anidrase carbônica. O ácido carbônico ioniza-se, formando H^+ e HCO_3^- (íon bicarbonato).

Do interior das hemáceas, o íon bicarbonato (HCO_3^-) difunde-se para o plasma, sendo então transportado aos pulmões. Nos pulmões, as reações ocorrem em sentido inverso, formando novamente CO_2 e H_2O pela anidrase carbônica. O íon H^+ provoca uma grande variação de pH, tornando o meio ácido. Esse efeito é contornado porque a oxiemoglobina (HbO_2) o capta, passando a HHb, liberando o oxigênio para as células e formando H_2O .

No sangue venoso haverá então aumento das concentrações de HHb e HCO_3^- , que serão transportados para os pulmões a fim de eliminá-los. Uma parte de HCO_3^- fica no plasma sob a forma de NaHCO_3 , para funcionar como substância tampão de regulação do pH.

Nos alvéolos pulmonares, o oxigênio inspirado desloca o H^+ da HHb, passando a HbO_2 . O HCO_3^- do sangue venoso combina-se então ao H^+ , dando H_2O e CO_2 . O CO_2 livre difunde-se do sangue venoso dos capilares para os alvéolos, e daí para o exterior.

Na respiração é possível inspirar determinados gases altamente tóxicos como o monóxido de carbono (CO) expelido por

motores, queima de lenha etc. O CO forma com a hemoglobina uma ligação 250 vezes mais estável do que com o oxigênio, a carboxiemoglobina (HbCO). Sua inspiração, mesmo que em pequenas quantidades, pode provocar a morte por asfixia em recintos fechados e mal ventilados.

O fumo é um causador da destruição progressiva dos alvéolos e, com isso, a eficiência respiratória diminui, surgindo tosse e pigarro típicos dos fumantes, e abrindo caminho para a instalação de doenças infecciosas, bronquite crônica e enfisema, pelo fato de o fumo provocar inibição do movimento dos cílios que limpam as vias respiratórias. Essas doenças causam deficiência de oxigenação em órgãos vitais como o coração, o cérebro e os músculos.

Gripes e resfriados desencadeiam irritação das mucosas das vias respiratórias. A mucosa reage à proliferação de vírus, inchando e produzindo um intenso fluxo de muco, a ponto de dificultar a respiração. Num ataque de asma, os bronquíolos se contraem, prejudicando a troca de gases.

Balanco da Água

O organismo humano é composto por aproximadamente 60% de água, repostos diariamente através da ingestão e da oxidação de alimentos e complementado pela ingestão de bebidas (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 Fontes de Água no Organismo		
Fontes de Água	Nutrientes	Quantidade (%)
Alimentos		4 -9
Oxidação dos nutrientes (100 g)	Lípídeo	107
	Carboidrato	55
	Proteína	41
Oxidação mista dos alimentos	200 – 300 mL/dia	
Ingerida		Complemento

A água ingerida é controlada pela sede. A sede é estimulada quando a osmolaridade celular aumenta ou quando o volume extracelular de líquido decresce. A necessidade diária adequada de água para adultos sadios é de 2,5 a 3,5 litros (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 Balanço de Água Ingerida e Excretada no Organismo		
Volume de Água	Fontes de Água (mL)	Metabolismo
Líquidos	500-1.700	Ingestão diária
Água dos alimentos	800-1.000	
Oxidação dos alimentos	200-300	
Total	1.500-3.000	
Urina	600-1.600	Excreção diária
Fezes	50-200	
Pele e pulmões	850-1.200	
Total	1.500-3.000	

A perda de 20% da água corpórea pode causar a morte. A perda de 10% de água corporal causa distúrbios severos. Em temperatura moderada, o homem sobrevive até 10 dias sem água.

Volemia Gravídica

A volemia é dada pela soma da quantidade de plasma e glóbulos. O volume de sangue normal de uma pessoa é: do homem é de 5,3 litros (78 mL/kg de peso) e da mulher é de 3,8 litros (66 mL/kg de peso).

Na gravidez, o volume sanguíneo aumenta aproximadamente um litro, o que corresponde a um aumento no volume de 40 a 50% até o final da gestação. O volume sanguíneo aumenta progressivamente a partir da 6ª semana gestacional, expande-se mais rápido no segundo trimestre, alcançando o pico na 24ª semana, para depois estabilizar até o final. O aumento do volume plasmático é necessário para suprir a demanda do sistema vascular hipertrofiado de um útero também aumentado.

A quantidade de eritrócito aumenta apenas 20 a 30% e a concentração de hemoglobina é reduzida. A gestação é uma situação que demanda maior consumo de oxigênio (eleva a necessidade em torno de 16%), conduzindo consequentemente a um aumento na atividade da eritropoetina.

Na gestação, a necessidade de ferro é aumentada devido ao desenvolvimento do feto, placenta e cordão umbilical e também para as perdas sanguíneas no parto e puerpério. O ferro será utilizado para a síntese de eritropitina. A regulação de ferro orgânico

é controlada pela sua absorção, mas nem todo ferro da circulação materna será destinado à mãe. Por isso, é necessário suplementação de ferro total entre 600 e 800 mg, o que corresponde de 5 a 6 mg ferro por dia para evitar anemia.

A anemia é considerada presente quando o hematócrito for menor que 32% e o nível de hemoglobina cair para menos de 11g/dL.

O aumento do volume sanguíneo aumenta a pressão sanguínea sistêmica média, provocando aumento do débito cardíaco de 30 a 50% a partir da sexta semana até atingir o valor máximo entre a 16ª e 28ª semana. O aumento do débito cardíaco causa aumento do retorno venoso para o coração. A frequência cardíaca de repouso passa de 80 para 90 batimentos por minuto.

Ao final da gestação, o útero recebe cerca de um quinto de todo suprimento sanguíneo da mãe. Na gravidez, o trabalho do coração aumenta por causa do aumento do requerimento cardíaco.

A quantidade de eritrócito para de 50 mL na 20ª semana de gestação para 250 mL na 40ª e o hematócrito reduz de 40-42% para 32% na mulher grávida. A hemoglobina diminui aproximadamente 30%, passando de 12-16 g% para 10-12 g% na gravidez. O volume globular aumenta 250 mL devido à produção acelerada da hemáceas. Neste período a pressão arterial sistólica é de 3-4 mmHg e a diastólica é de 10-15 mmHg.

Alcoolismo

O etanol, ou o álcool etílico, é uma das mais antigas drogas, considerada psicotrópica porque causa modificações no psiquismo. É uma droga como a cocaína, a maconha ou o tranqüilizante.

O alcoolismo é consequência do abuso da ingestão de bebidas alcoólicas. A pessoa não sabe quando termina o uso social e começa o uso patológico. Para a maioria dos médicos, o que realmente demarca o limite entre o bebedor social e o alcoólatra é a perda de liberdade de decisão sobre o ato de beber. O paciente direciona toda a sua vida em função do álcool, abrindo mão de outras atividades e interesses.

Pode-se basear na frequência e na quantidade de álcool ingerido para saber se a pessoa é ou não alcoólatra. Para o homem, essa quantidade é de 80 g de álcool por dia e para a mulher é de 40 g, em média. Acima desse consumo começam a surgir doenças hepáticas, gástricas e neurológicas provocadas pelo álcool.

O alcoolismo é uma doença progressiva, isto é, quanto mais a pessoa bebe, mais aumenta a sua tolerância à bebida e maiores são os danos aos órgãos envolvidos para sua eliminação. O estudo das causas é importante para determinar a linha de tratamento.

Existem dois tipos de alcoólatras: o primário, desencadeado por predisposições genéticas, e o secundário, causado por problemas psiquiátricos.

O alcoolismo primário é mais comum e incurável, só podendo ser controlado pela abstinência total. Já o alcoolismo secundário é praticado por pessoas que apresentam diversos motivos para consumir alguma bebida alcoólica, como:

- a. Esquecer, funcionando como anestésico para o espírito;
- b. Buscar segurança e alívio para a ansiedade resultante da insegurança;
- c. Sentir-se viril, isto é, reafirmar algo que as pessoas precisam crer;
- d. Desinibir e dar ao indivíduo a coragem de enfrentar situações;
- e. Não sentir medo de ser julgado inferior;
- f. Aliviar as tensões ou traumas de infância.

O fígado não atua apenas na digestão de alimentos, mas realiza várias outras funções vitais, entre elas promover a eliminação do etanol e de toxinas do organismo.

A ação do álcool na vida de uma pessoa começa irritando a boca e o esôfago e é logo passado ao estômago e ao intestino delgado, onde é absorvido. Daí vai para o fígado, onde parte é metabolizada com consumo de glicose, vitaminas B₁ (tiamina) e B₆ (piridoxina).

Inicialmente, o álcool é transformado em aldeído acético ou acetaldeído, substância altamente tóxica. Logo a seguir entra em ação a enzima aldeído-desidrogenase, que converte o acetaldeído em acetato com destino para o ciclo de Krebs para formar os produtos finais, CO₂ e H₂O (Fig. 4.12). Portanto, 90% do álcool ingerido são, assim, eliminados. O resto do etanol não metabolizado é eliminado na respiração ou na urina, por difusão. Ao coração, o etanol chega pela veia cava, cai na circulação sanguínea e é distribuído para todos os órgãos como acetaldeído.

O acúmulo de acetaldeído causa rubor facial. A cefaléia alcoólica é provocada pela irritação do álcool nas meninges. Orientais

62 • Capítulo 4

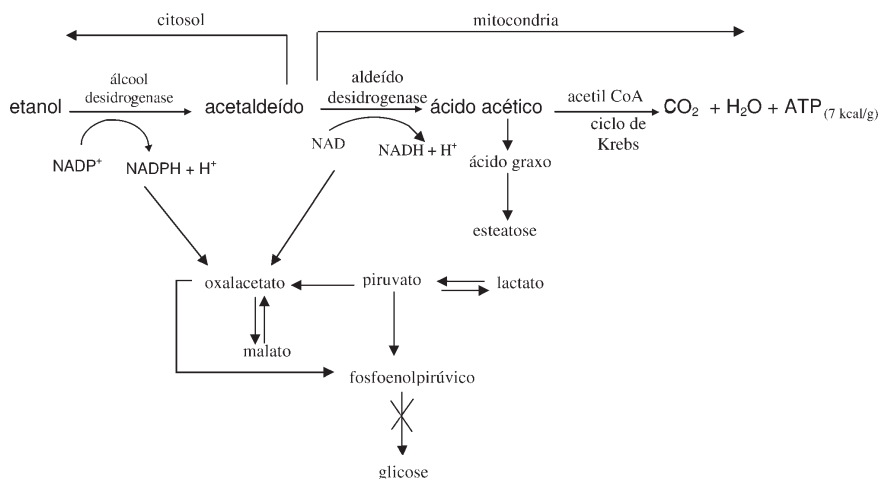


Fig. 4.12 – Diagrama das transformações do álcool etílico no fígado.

têm deficiência da enzima aldeído-desidrogenase e por isso têm menor tolerância ao consumo de álcool que os ocidentais.

No processo de oxidação do etanol ocorre a desidrogenação. Os hidrogênios liberados são captados pelo sistema NAD/NADH₂ que os leva para a cadeia respiratória, formando água e ATP. Portanto, grandes quantidades de álcool geram muito hidrogênio suplementar, provocando distúrbios nas células hepáticas. Se há muito álcool no fígado, a necessidade de sua destruição ocupa grande quantidade de NAD. Sendo assim, a quantidade de moléculas de NAD disponível para o ciclo de Krebs e glicólise diminui muito, prejudicando o processo metabólico normal da célula.

No citosol a alta concentração de NADPH + H⁺ produzido na oxidação do etanol induz a redução do piruvato a lactato e do oxalato a malato, impedindo a gliconeogênese. Isso causa a hipoglicemia, com aumento de agressividade e agitação. Na mitocôndria, a alta concentração de NADPH + H⁺ inibe o ciclo de Krebs. O acetato será exportado para fora do fígado para ser metabolizado.

O álcool deixa um rastro de destruição por todo o organismo. As moléculas de etanol que circulam pelo corpo afetam as células nervosas, alterando a função dos neurotransmissores, que são substâncias responsáveis pela troca de informações entre os neurônios. Isso ocorre porque todos os nervos do organismo

possuem um invólucro gorduroso chamado lipóide. O álcool tem a capacidade de dissolver substâncias gordurosas, e sendo a lipóide dissolvida, surgem vários curto-circuitos no sistema nervoso.

Os efeitos iniciais do álcool são euforia e desinibição, fazendo muitas pessoas acreditarem que é uma droga estimulante. Mas isso não é verdadeiro. O álcool é classificado como depressor do sistema nervoso central, sendo que em pequenas doses atua sobre os neurônios inibitórios, deprimindo-os e, assim, liberando as emoções contidas e fazendo com que a pessoa se sinta extrovertida e alegre.

Quando a dose aumenta, o álcool deprime todas as outras atividades do organismo, com diminuição crescente das funções cerebrais e da habilidade psicomotora, até chegar numa fase de sono profundo, com perda de reflexos e de calor e, por fim, depressão cardiorespiratória. Esse estado, ao extremo, é caracterizado como coma alcoólico, podendo levar à morte.

O fígado é o órgão mais afetado porque, conforme aumenta a sua exigência, aumenta também a sua capacidade de metabolizar o álcool, provocando um aumento na tolerância ao álcool pelo alcoolatra. Com o tempo, a produção de aldeído ultrapassa a capacidade do sistema, fazendo surgir várias alterações nas células hepáticas, como: esteatose, hepatite alcoólica e cirrose.

A combinação de álcool e droga causa aumento do efeito do remédio (calmante) ou inativa o seu efeito (dor de cabeça contínua), podendo levar a taquicardia.

O aumento no consumo de álcool produz:

- Aumento da taxa de adrenalina e glucagon;
- Maior mobilização de triglicerídeos do tecido adiposo, provocando acúmulo de ácidos graxos no fígado;
- Aumento da oxidação de ácidos graxos, produzindo corpos cetônicos.

Das doenças causadas pelo álcool, as mais comuns são:

- a. *Esteatose*: acúmulo de gordura no fígado, tornando-o amarelo e aumentado. Duas semanas de consumo excessivo e constante são suficientes para o aparecimento da doença. Essa lesão é reversível, e duas semanas de abstinência é suficiente para os sintomas desaparecerem.
- b. *Hepatite alcoólica*: o alcoolismo determina interferência no metabolismo celular pelo fato de a glicólise e o ciclo de Krebs ocorrerem em marcha lenta, sobrando açúcares e

ácidos graxos nas células, que acabam sendo convertidos em gorduras acumuladas aos poucos nas células hepáticas. As mitocôndrias dessas células aumentam de volume devido ao seu trabalho anômalo, isto é, ciclo de Krebs prejudicado, porém cadeia respiratória a todo vapor devido à desidrogenação do etanol. NAD será utilizado na cadeia respiratória preferencialmente, não disponibilizando para o ciclo Krebs. As células hepáticas tentam se livrar das gorduras nelas depositadas e as liberam na circulação. No entanto, após alguns anos, essas células repletas de gordura começam a morrer, causando um processo inflamatório, pois há necrose (morte) das células e formação de fibroses (cicatrices). Esse estado é conhecido como hepatite alcoólica.

- c. *Cirrose hepática*: é uma insuficiência hepática crônica, incurável e potencialmente fatal, consistindo numa substituição da arquitetura normal do fígado por nódulos de regeneração. O fígado possui um sistema de vasos por onde o sangue circula. Esses vasos são orientados espacialmente por estruturas chamadas de arcabouço de reticulina. Conforme essas estruturas sofrem lesões, as células do fígado tendem a se regenerar, mas o fazem desordenadamente, formando-se vários nódulos circundados por cicatrizes que dificultam a passagem do sangue, e o fígado encolhe, reduzindo sua função de filtrar o sangue. As alterações que podem surgir são:
- *Icterícia*: caracterizado pela coloração amarela da pele porque o fígado não excreta a bilirrubina (morte da hemoglobina);
 - *Hemorragia digestiva*: o sangue não passa pelo fígado, procurando caminhos alternativos;
 - *Acúmulo de líquido*: inchaço da barriga (ascite);
 - Disfunção do baço, provocando anemia, inchaço dos órgãos e alterações hormonais;
 - *Convulsão*: como não ocorre o ciclo da uréia, acumula no cérebro.
- d. Síndrome da abstinência: caracteriza-se, a princípio, por insônia, pesadelos ou tremores nas mãos. É uma das mais terríveis consequências do alcoolismo. A fase mais crítica é o *delirium tremens*: agitação intensa, convulsões e alucinações. É comum também a pessoa ouvir vozes ou sentir-se atacada por insetos ou animais.

A glicose é indicada no caso de hipoglicemia provocada pela ingestão excessiva de álcool, associada ao jejum prolongado, pois a glicose participa da oxidação do álcool, ajudando a eliminá-lo mais rapidamente.

A ressaca é um tipo de intoxicação causada quando a quantidade de álcool ingerida é grande. Seus principais sintomas são: boca seca, pois o álcool provoca contração nos vasos sangüíneos causando a sensação de ressecamento e a necessidade de ingerir água; dor de cabeça e enjôo. Esses sintomas só desaparecem quando boa parte do álcool for eliminada pela urina.

O alcoolismo é uma doença que pode ser tratada e curada. O Alcoólatras Anônimos (AA) é uma organização de combate ao alcoolismo e que defende a abstinência total como tratamento. É um grupo de auto-ajuda, no qual os alcoólatras compartilham seus problemas. O lema é “evite o primeiro gole”. Para um bom tratamento, é preciso mudar padrões de comportamento que estavam muito ligados ao alcoolismo, pois o dependente direciona todo o seu dia-a-dia em busca e no consumo da droga.

A internação só é recomendada quando há complicações psiquiátricas sérias ou risco de agressividade. Muito raramente é recomendado ao paciente o uso de substâncias que provocam a aversão ao álcool, como o “dissulfiram” (dissulfeto de tetra-etiltiuram) que interfere no metabolismo do álcool, causando reações desagradáveis: rubor facial intenso (vermelhidão), queda da pressão arterial, tonturas, vômitos e aumento da frequência cardíaca, tornando-se uma droga perigosa que pode levar à morte.

O consumo de álcool entre as mulheres tem aumentado consideravelmente. Um fato curioso e ainda sem explicação é que o organismo feminino é mais sensível ao álcool. Normalmente, as mulheres começam a beber mais tarde que os homens, mas apresentam-se para o tratamento da doença na mesma idade. Isso pode ser explicado por fatores hormonais ou devido a sua menor quantidade de água corpórea em relação ao peso, levando a um aumento da concentração alcoólica no sangue.

Na gravidez, o alcoolismo feminino pode ter conseqüências trágicas, pois o álcool tem a propriedade de atravessar a placenta, atingindo a circulação fetal. Por isso, a criança já nasce com a síndrome da abstinência, tornando-se agitada e nervosa pela ausência de bebida.

Pode, ainda, sofrer uma doença chamada FAS (síndrome alcoólica fetal) que provoca desde problemas de comportamento

até retardo mental, muitas vezes acompanhado de má formação orgânica como a microcefalia (cabeça menor do que a normal).

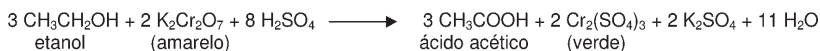
Como determinar a quantidade de álcool presente nas bebidas? Por exemplo: as bebidas destiladas têm aproximadamente 50% de álcool; o vinho tem de 10% a 18%; e a cerveja, de 4% a 6%.

Se uma pessoa ingerir 50 mL de cachaça, estará bebendo 25 mL de álcool (50%). Mas a densidade do álcool é 0,8 g/mL. Então, em uma dose de cachaça conterà: $0,8 \text{ g/mL} \times 25 \text{ mL} = 20 \text{ g}$ de álcool. Se o limite do homem é de 80 g de álcool por dia, a ingestão de uma dose de cachaça significa um quarto do limite. Para a mulher, essa ingestão corresponde à metade do limite de 40 g/dia.

A bebida doce embriaga mais rapidamente pelo fato de a velocidade de absorção ser maior, pois o açúcar facilita o transporte. O álcool misturado ao café, que contém a cafeína, um agente estimulante que tira o sono, terá como resultado a situação do bêbado acordado.

A correspondência alcoólica com as outras bebidas pode se resumida da seguinte forma: uma dose de uísque corresponde a duas de vinho tinto, quatro de vinho branco e dez de cerveja.

O teste do bafômetro é usado para medir a quantidade de etanol expirado, indicando o grau de alcoolismo de um indivíduo. A legislação brasileira determina que a concentração máxima permitida para motoristas seja de 0,6 g de álcool por litro de sangue. A reação do álcool no teste do bafômetro que demonstra o grau de alcoolismo é dada pela alteração de cor do reagente, de amarelo para verde.



Lipídeos

Os lipídeos incluem todas as substâncias insolúveis em água, que podem ser extraídas de um material biológico com solventes usuais de gordura, como éter, clorofórmio, acetona e benzeno. Os triglicerídeos são considerados gorduras neutras, por serem constituídos por um mol glicerol e três de ácidos graxos, e formam 95% da gordura corporal.

O organismo possui grande capacidade de armazenar gordura em seu tecido adiposo, que funciona como reserva energética. O homem tem 15% de gordura corpórea, enquanto que a mulher tem 25%. Para um homem de meia idade a energia potencial armazenada é de aproximadamente 100.000 kcal ($80 \text{ kg} \times 15\% \times 9 \text{ kcal/g} = 108.000 \text{ kcal}$).

Certos lipídeos são utilizados pelo organismo como fonte de energia para as células, fornecendo 9 kcal/g; outros são componentes estruturais, como os fosfolipídeos, que fazem parte da estrutura das fibras nervosas e coagulação sangüínea; outros funcionam como coenzimas na forma de vitaminas A e K, coenzima Q e plastoquinonas; outros funcionam como hormônios na forma de vitamina D e prostaglandina, participando da regulação da pressão sangüínea, dos batimentos cardíacos, da dilatação vascular, da lipólise e do sistema nervoso central; outros, ainda, têm função de transporte, como as lipoproteínas. Os hormônios são derivados de esteróis (colesterol); lipídeos (prostaglandinas); glicoproteínas (eritropoína, que atua na secreção das hemáceas).

A estocagem de gorduras é vantajosa para a manutenção da temperatura corporal, uma vez que a camada de gordura na pele atua como isolante térmico, protegendo o organismo

de mudanças bruscas de temperatura do meio ambiente. Essa característica é importante nos recém-nascidos, que não dispõem de todos os mecanismos de regulação térmica suficientemente desenvolvidos. Durante a atividade física, os indivíduos mais gordos podem produzir calor corporal de 10 a 20 vezes acima do normal. A gordura também tem função de proteger o corpo de injúrias mecânicas (4%).

Além dessas funções, os lipídeos diminuem o volume da dieta, pois são ingeridos em forma pura, enquanto que em outros alimentos uma considerável proporção de água é incorporada, pois contêm amido que absorve água. As gorduras ingeridas provocam a liberação de enterogastrona do duodeno, inibindo o esvaziamento do estômago e proporcionando uma sensação de maior saturação e plenitude gástrica devido a sua permanência mais prolongada no trato digestivo. Por isso o homem consegue ficar mais independente dos intervalos entre as refeições.

Os lipídeos também têm função de suporte às vísceras, de transporte de elétrons na atividade enzimática, na reprodução, no funcionamento renal, no desenvolvimento do cérebro, além de serem responsáveis pelas características de gosto, odor e aroma dos alimentos. Os ácidos graxos da camada fosfolipídica da membrana associados a proteínas específicas determinam a seletividade da membrana, controlando a passagem de substância para dentro e fora das células. Os fosfolipídeos, sintetizados no fígado, têm função estrutural da membrana plasmática, lisossomos, mitocôndria, retículo endoplasmático e nervos; participam da coagulação sanguínea.

Outra função dos lipídeos é a de funcionar como solvente de vitaminas lipossolúveis (A, D, E, K), que têm papel importante de proteção da saúde através da participação da síntese de anticorpos. Durante a refinação do óleo bruto ocorre perda dessas vitaminas e, portanto, a sua função de proteção à saúde fica diminuída. Por isso, é necessária adição de vitaminas aos óleos e margarinas depois do processo de refinação dos mesmos.

Os lipídeos são fundamentais na dieta por fornecerem ao organismo os ácidos graxos essenciais, como o ácido linolênico (encontrado no óleo de soja) e o ácido linoléico (encontrado no

óleo de milho). São considerados essenciais por não serem sintetizados pelo organismo e, portanto, devem constar da dieta. O ácido araquidônico é encontrado somente em produtos animais, mas pode ser sintetizado a partir do linoléico e, por isso, não é considerado essencial.

A taxa de crescimento reduzida devido à desnutrição causa atraso no acúmulo de lipídeos na mielina (cérebro). O excesso de gordura corporal pode ser o responsável por certas doenças como: diabetes, hipertensão, doença arterial coronariana e câncer de mama e cólon. O acúmulo de gordura no homem produz corpo com formato de maçã, com maior concentração de gordura na região do coração, e na mulher, de pêra, concentrando-se na região dos quadris.

Definição

Por definição, lipídeo é a classe geral que engloba as gorduras e os óleos. As gorduras são triglicerídeos, de cadeia média a longa, sólidas a temperatura ambiente e contêm mais ácido graxo saturado que os óleos. Os óleos são triglicerídeos, de ácido graxo de peso molecular médio (12 a 20 carbonos); são líquidos à temperatura ambiente e contêm mais ácido graxo insaturado que as gorduras. Exemplo: a margarina é o produto da hidrogenação de óleo para obtenção de gorduras (Tabela 5.1).

Ácidos graxos formados por cadeia de 4 a 8 carbonos são encontrados, preferencialmente, em gorduras de laticínios. Os de cadeia entre 8 a 12 carbonos são encontrados em óleos de côco e palmeira, e os de cadeia com número maior que 12 carbonos estão presentes na gordura animal.

Os ácidos graxos polinsaturados ω -3 (linolênico, formado por 18 carbonos e 3 duplas; eicosapentanoico, formado por 20 carbonos e 5 duplas; docosaapentanoico, formado por 22 carbonos e 6 duplas) são encontrados em óleos de peixe do Atlântico Norte. Os ácidos graxos ω -3 são considerados alimentos funcionais, pois evitam a formação de coágulos sanguíneos na parede arterial, diminuem a pressão sanguínea, aumentam HDL e reduzem LDL. Os ácidos ω -6 (linoléico e araquidônico) são responsáveis pela integridade da pele e pelo funcionamento renal.

Tabela 5.1 Fonte Alimentar de Ácido Graxo Saturado		
Ácido graxo	PF (°C)	Alimento
Butírico	-7,9	Manteiga
Láurico	44	Coco
Mirístico	54	Coco
Palmítico	63	Toucinho, óleo de palma, leite humano
Esteárico	70	Cacau
Araquídico	75	Amendoim
Lignocérico	84	Amendoim, mostarda, gergelim, girassol

Os lipídeos da dieta são considerados saudáveis se apresentarem a relação polinsaturado/saturado próximo de 1:1. Mas a melhor relação é a de 2:1, isto é, quando atinge menos de 10% de gordura saturada do total das calorias fornecido pelos lipídeos na dieta. O total recomendado de calorias fornecido pelos lipídeos deve ser formado por 20% a 30% do total energético da dieta (Tabela 5.2).

As gorduras dos animais diferem de espécie para espécie e também nas diferentes partes do animal, conferindo-lhes pontos de fusão específicos (Tabela 5.3).

Isso significa que a gordura de porco é de consistência mais mole que as outras e tem mais ácido graxo insaturado (menor ponto de fusão indica maior quantidade de ácido graxo insaturado).

Pode-se dizer que a ordem decrescente de qualidade nutricional dos óleos é: oliva, canola, girassol, soja, milho. Os óleos com maior porcentagem de insaturação são considerados melhores para a saúde, promovendo menores riscos coronarianos (Tabela 5.4).

A digestibilidade varia com o tipo de gordura, isto é, o grau de insaturação (Tabela 5.5). As gorduras com baixo ponto de fusão (óleo), mais insaturadas, são de mais fácil digestão do que aquelas de alto ponto de fusão (manteiga), mais saturadas. De modo geral, pode-se considerar o coeficiente de digestibilidade dos lipídeos como sendo de 95%.

O ponto de ebulição dos lipídeos aumenta com o aumento do tamanho da cadeia. O ponto de ebulição dos ácidos graxos insaturados é menor do que os saturados com o mesmo número de carbonos na cadeia.

Tabela 5.2
Fontes Dietéticas Comuns de Gordura
Saturada e Insaturada

<i>Fonte alimentar</i>	<i>Gordura (%)</i>	<i>Saturação (%)</i>	<i>Insaturação (%)</i>
Coração	6	50	50
Galinha	10 -17	30	70
Carne	16 -42	52	48
Carneiro	19 -29	60	40
Presunto	23	45	55
Porco	32	45	55
Manteiga	81	55	36
Margarina	81	26	66
Óleo de girassol	47		73
Óleo de milho	100	7	78
Óleo de oliva	100	14	86
Óleo de soja	100	14	71,5

Tabela 5.3
Temperatura de Fusão de Alguns Lipídeos de Origem Animal

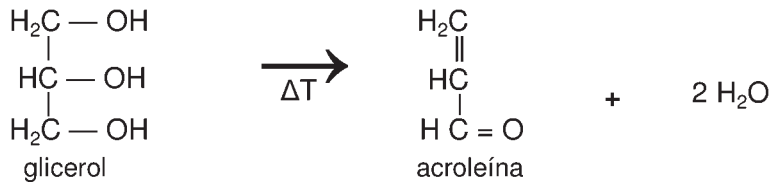
<i>Origem do Lipídeo</i>	<i>Ponto de Fusão</i>
Porco	28
Vaca	45
Carneiro	50

Tabela 5.4
Fonte Alimentar de Ácido Graxo Insaturado

<i>Ácido graxo</i>	<i>PF (°C)</i>	<i>Alimento</i>
Palmitoléico	-0,5 a 0,5	Manteiga
Oléico	13	Óleo de oliva
Nervônico		Cérebro
Linoléico	-5 a -12	Óleo de milho e de algodão
Linolênico	-14	Óleo de soja
Araquidônico	-50	Ovo
ω -3		Peixe de água salgada do Norte

Tabela 5.5			
Ponto de Fusão de Alguns Tipos de Lipídeos e Digestibilidade			
Fonte de Lipídeo	PF (°C)	Digestibilidade (%)	Grau de Insaturação
Óleo	10	~100	+++++
Porco	28	98	++++
Manteiga	32	97	+++
de vaca	45	93	++
de carneiro	50	88	+

Os alimentos envolvidos por capas gordurosas apresentam digestão retardada no estômago. Cozinhando-se as gorduras em altas temperaturas obtêm-se, na fritura, mudanças que tornam a digestão mais difícil. O glicerol da gordura pode produzir substâncias que provocam irritação das membranas do intestino, pois sofre transformações quando exposto a altas temperaturas e ao oxigênio. O glicerol é transformado em acroleína, de cheiro desagradável e ação irritante. Por essa razão, é desaconselhável o uso de muitas frituras na dieta e ainda recomenda-se que a temperatura de fritura seja cuidadosamente controlada.



Os óleos vegetais são mais vantajosos quando usados em frituras, pois têm alto ponto de fumaça. Essa característica é importante porque proporciona a utilização de temperatura de fritura mais alta, sem alterar as propriedades organolépticas, tecnológicas e nutritivas do óleo. As panelas fundas, usadas em frituras, impedem que haja exposição do óleo ao ar, aumentando a temperatura do ponto de fumaça.

Ponto de fumaça é a temperatura na qual o óleo começa a queimar, alterando suas propriedades. A temperatura ideal de fritura é de aproximadamente 177 a 196°C. Cada vez que um mesmo

óleo é usado, seu ponto de fumaça diminui porque resíduos ficam agregados ao óleo. A adição de óleo novo ao óleo velho altera a qualidade do óleo e diminui o ponto de fumaça (Tabela 5.6).

Tabela 5.6		
Ponto de Fumaça de Alguns Lipídeos		
Gordura	Ponto de Fumaça (°C)	
	Inicial	Final
Animal	177 -184	165 –168
Vegetal hidrogenada	180 -188	169 – 176
Óleo	227 -232	186 – 187
Banha	183 -205	166 -176

O ponto de fumaça é perceptível no ambiente, pois torna-se enfumaçado quando a temperatura diminui 50 °C do ponto de fumaça, aumentando a acidez do óleo.

Para maior segurança de reutilização de óleos, deve-se substituir 1/5 do óleo velho pelo novo. O limite de uso do mesmo óleo indicado é no máximo 20 vezes ou 30 horas.

A fritura é um processo de secagem do alimento que favorece a formação de compostos tóxicos por causa das alterações que o óleo sofre durante o aquecimento, como o aumento da temperatura (180°C), a presença de umidade que provoca hidrólise e de oxigênio do ar, causando oxidação (Fig. 5.1). Os ácidos graxos *trans* também aumentam com a fritura e são absorvidos pelo organismo na ausência de óleo essencial, pois os ácidos graxos *trans* não são reconhecidos pelas enzimas.

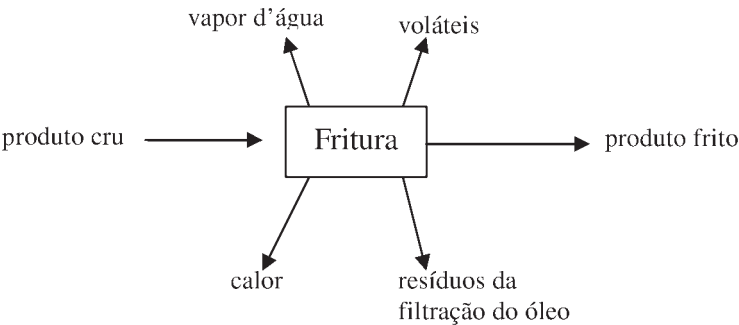


Fig. 5.1 – Compostos resultantes durante o processo de fritura.

Durante a fritura há passagem de ácidos graxos saturados do alimento para o óleo, diminuindo as chances de oxidação, porque há menos duplas ligações. No processo são formados compostos do tipo:

- Polímeros: resultantes da oxidação e desidratação dos triglicerídeos, produzindo compostos dímeros cíclicos, hidroperóxidos, cetonas, aldeídos e álcoois que dão caráter tóxico ao óleo.
- Voláteis: formados por compostos voláteis produzidos pela hidrólise do triglicerídeo durante a fritura. Carregam parte dos peróxidos formados, diminuindo os radicais livres.
- Polares: são formados por emulsificantes, que aumentam o tempo de cozimento e o de contato do alimento com o óleo. A consequência é o aumento da taxa de absorção de óleo pelo alimento. Sua formação durante a fritura pode ser percebida pela cor escura que confere ao óleo. Por lei, quando sua concentração for maior que 25%, o óleo deve ser descartado. O óleo, nessas condições, apresenta espuma, cor escura, aumento de acidez e fumaça.

A presença de espuma se deve à formação de mono e diglicerídeos que agem como emulsificantes, aumentando a viscosidade do óleo e alterando características organolépticas. Se houver perda maior que 60% de água durante a fritura (por exemplo, de peixe), o alimento começa a absorver óleo.

O óleo mais indicado para a fritura é o de girassol, por conter alta porcentagem de ácido oléico e menos de 2% de ácido linolênico (ω -3). Ao resfriar, o óleo sofre oxidação mais rápida, o que pode ser minimizado, tampando-se o recipiente. O óleo usado deve ser armazenado sob refrigeração para evitar sua oxidação.

Em altas temperaturas os ácidos graxos podem também sofrer modificações como o fechamento da cadeia, formando poliaromáticos, que são eliminados na desodorização de óleos vegetais. Ou, durante o processo de hidrogenação do óleo para a fabricação de margarina, pode ocorrer a formação de cadeias isômeras na forma *cis* ou *trans*. A forma *trans* é mais estável, mas cancerígena. O limite máximo recomendado de ingestão é de 2 gramas por dia. A presença de gordura *trans* nos alimentos

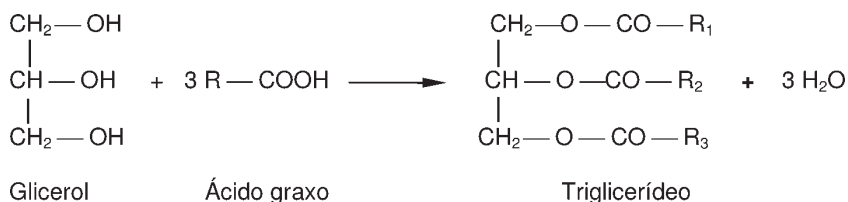
é detectada através do aumento de sólidos, índice de refração, tendo como consequência o aumento da viscosidade do óleo. Quando isso ocorre é necessário fazer uma nova neutralização ou esterificação do óleo para sua remoção.

O óleo de petróleo, apesar de ser considerado um lipídeo, é indigerível porque não contém oxigênio em sua estrutura como os óleos e gorduras verdadeiros. Por isso é usado como lubrificante e laxativo.

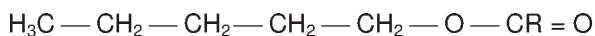
Classificação dos Lipídeos

Os lipídeos mais comumente encontrados nos tecidos podem ser classificados em simples, complexos e derivados. Ácidos graxos são ácidos monocarboxílicos, geralmente de alto peso molecular, de cadeia linear e número par de carbonos na cadeia.

- Lipídeos simples: são compostos que, por hidrólise total, dão origem a ácidos graxos e álcoois. São divididos em:
 - Glicerídeos: podem ser mono, di ou triglicerídeo. São ésteres de ácido graxo e glicerol.



- Cerídeos: são ésteres de ácido graxo e álcool monohidroxílico de alto peso molecular e geralmente de cadeia linear. Têm função de proteção e impermeabilização nas frutas, insetos e aves.



álcool

ácido graxo

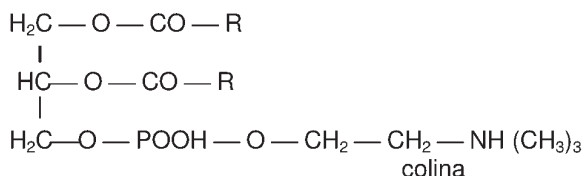
- Lipídeos compostos: são compostos que têm outros grupos na molécula além de ácido graxo e álcool. Pertencem a essa classe:
 - Fosfolipídeos: participam da coagulação sangüínea e da estrutura das fibras nervosas e membrana plasmática.

76 • Capítulo 5

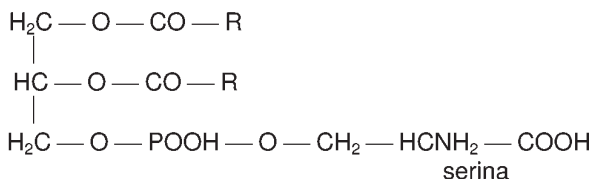
- **Glicerofosfolipídeos:** são ésteres de ácido graxo, fosfato (H_3PO_4) e um álcool aminado (aminálcool). São encontrados nas membranas dos tecidos animais e vegetais. Têm função de detergência no organismo, pois o ácido graxo atrai a gordura e o fósforo atrai a água.

Exemplos:

- a) **Lecitina**, que funciona como emulsificante e é utilizada na industrialização de alimentos para fabricação de produtos de dissolução instantânea, como o leite em pó e o chocolate.

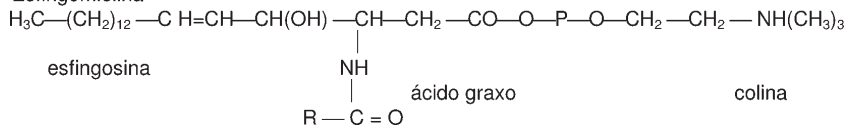


- b) **Cefalina**



- **Esfingolipídeos:** são formados por ácido graxo, ácido fosfórico e duas bases nitrogenadas — a colina e a esfingosina. Exemplo:

Esfingomielina



- **Fosfoinosítídeos:** nesse composto não existe base nitrogenada. O ácido fosfórico liga-se ao ácido graxo e ao inositol, que é um álcool não aminado.
- **Cerebrósídeos ou glicolipídeos:** contêm em sua estrutura, a esfingosina, ácido graxo e um açúcar, que é a galactose, cuja função é estrutural. São encontrados em grandes quantidades nas membranas do cérebro, nas células nervosas e em menor quantidade no fígado, rins e baço.

- *Sulfolipídeos*: são compostos de estrutura pouco conhecida, que contêm enxofre em sua molécula.
- *Lipídeos derivados*: a essa classe pertencem os esteróis que possuem como base a estrutura do ciclopentanoperidrofentanreno, que dá origem a compostos como o colesterol, as vitaminas D₃ e D₂, aos ácidos biliares e aos hormônios sexuais e adrenocorticais.

Propriedades dos Triglicerídeos

- I. *Hidrogenação*: é a saturação das duplas ligações de carbonos com hidrogênio. Esse processo é utilizado para produção de margarina.
- II. *Halogenação*: consiste na ligação de halogênios, principalmente o iodo, às duplas ligações. O índice de iodo permite determinar o grau de insaturação dos óleos. Quanto maior o índice de iodo, maior o número de duplas ligações.
- III. *Rancificação*: nesse caso ocorre transformação dos triglicerídeos por processos hidrolíticos ou oxidativos. O processo hidrolítico dá-se através de enzimas bacterianas que atacam ácido graxo de cadeia curta. Ocorre principalmente na manteiga. O processo oxidativo dá-se com ácido graxo insaturado por ação da luz ou através de radicais, alterando as propriedades organolépticas dos óleos, formando compostos responsáveis pelo odor e sabor desagradáveis.
- IV. *Hidrólise*: a lipase é responsável pela hidrólise dos triglicerídeos, produzindo ácido graxo e glicerol. Se a hidrólise ocorrer em presença de álcali, os produtos da reação serão glicerol e sais de ácido graxo, ou seja, sabão. Essa reação é chamada de saponificação. O índice de saponificação é usado para avaliar o peso molecular dos triglicerídeos. Quanto maior o índice de saponificação, menor o peso molecular e, portanto, o ácido graxo é de cadeia curta. Exemplo: manteiga.
- V. *Detergência*: os detergentes são caracterizados por possuírem em sua estrutura uma porção hidrofóbica e uma hidrofílica. Os sais de ácido graxo possuem uma porção hidrofóbica (cadeia de hidrocarboneto, solúvel em gordura) e uma porção hidrofílica (grupo carboxila, solúvel em água). Mono e diglicerídeos geralmente têm essa função.

Digestão dos Lipídeos

Os lipídeos devem ser digeridos pelas suas lipases digestivas para serem absorvidos. A digestão dos lipídeos começa no estômago pela ação da lipase gástrica, mas a maior parte da digestão ocorre no intestino delgado pela ação da lipase pancreática e da bile. A bile é formada por sais de sódio, entre eles o bicarbonato de sódio, que dá caráter básico ao meio, permitindo que os lipídeos sofram um processo de saponificação, isto é, a tensão superficial dos glóbulos de gordura diminui, permitindo a emulsificação desses lipídeos.

Composição da bile: ácidos biliares, glicólico e taurocólico; pigmento bilirrubina; ácidos graxos; proteínas; sais minerais, NaHCO_3 ; colesterol; pH entre 7,0 e 7,7.

A emulsificação faz com que os grandes aglomerados de moléculas de gordura sejam transformados em frações menores, facilitando, portanto, a ação das enzimas.

Os ácidos graxos provenientes da digestão formam com a bile micelas, que são levadas até a membrana intestinal para absorção. Sem sais biliares, 50% da gordura ingerida é excretada nas fezes, sem digestão.

A lipase pancreática é a enzima mais importante da digestão dos lipídeos, que, pela ação dessa enzima, são transformados em glicerol e ácido graxo livre. Qualquer inflamação do pâncreas ou do fígado impede a síntese dessas enzimas e, portanto, não ocorre a absorção de lipídeos. Isso significa que 50% da gordura ingerida são excretadas nas fezes sem digestão.

O monoglicerídeo com ácido graxo na posição 2 do glicerol é hidrolisado muito lentamente e, por isso, é provável que uma isomerase transfira o ácido graxo dessa posição para o carbono 1 ou 3 do glicerol, facilitando a atuação da lipase. Os monoglicerídeos conseguem atravessar a membrana intestinal na mesma velocidade que ácido graxo e glicerol. De todo lipídeo ingerido, 40% é absorvido na forma de glicerol e ácido graxo livre, e 60% como mono e diglicerídeos (Fig. 5.2).

Os fosfolipídeos são hidrolisados por uma série de fosfolipases a glicerol, ácido graxo e ácido fosfatídeo (formado por aminoálcool e fosfato). O colesterol e as vitaminas lipossolúveis não precisam sofrer digestão. São prontamente absorvidos pela mucosa intestinal. O colesterol ligado a ácido graxo sofre hidrólise e é absorvido como colesterol livre. A síntese de colesterol

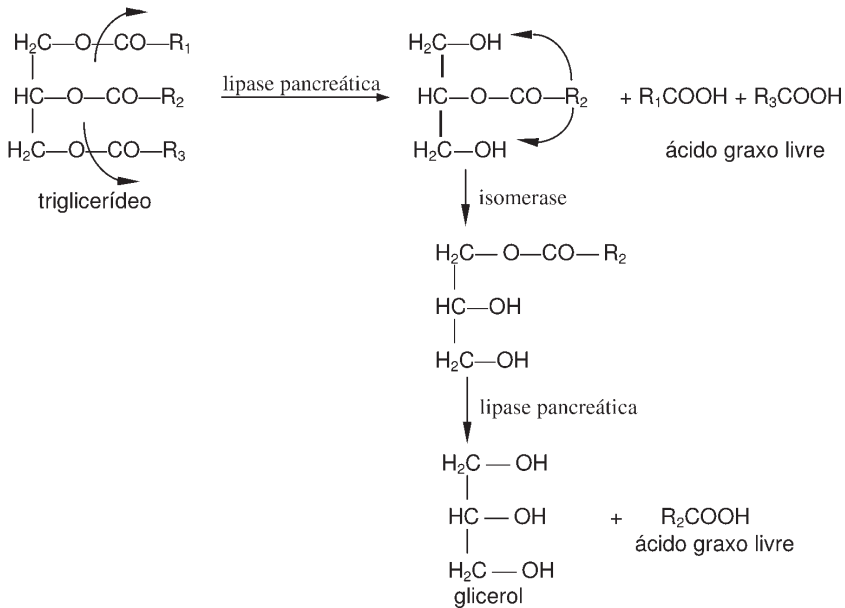


Fig. 5.2 – Esquema das reações que ocorrem durante a digestão dos lipídeos.

endógeno varia de 0,2 a 2,0 g/dia, o que corresponde a 70% da necessidade do organismo. Pode ser maior quando a dieta for rica em ácido graxo saturado.

O colesterol é responsável pelas sínteses dos hormônios das características secundárias masculinas e femininas, estrogênio, androgênio e progesterona e das secreções biliares.

Os alimentos mais ricos em colesterol são: ovo, carnes vermelhas, vísceras, moluscos e produtos lácteos. O limite máximo de ingestão diária de colesterol é de 100 mg/1.000 kcal de alimento ingerido, o que corresponde à quantidade contida numa gema de ovo grande (Tabela 5.7).

Tabela 5.7
Conteúdo de Colesterol e Gordura Saturada em Alguns Alimentos

<i>Alimento</i>	<i>Tamanho da Porção</i>	<i>Colesterol (mg)</i>	<i>Gordura Saturada (g)</i>
Rim	90 g	680	3,8
Fígado	90 g	370	2,5
Ovo	60 g	275	1,7
Camarão	90 g	128	0,2
Cachorro-quente	90 g	75	9,9
Carne magra	90 g	73	3,7
Sorvete	1 bola	59	8,9
Peixe magro	90 g	43	0,8
Leite integral	120 mL	33	5,1
Manteiga	20 g	31	7,1
Iogurte	120 mL	14	2,3
Leite desnatado	120 mL	4	0,3
Margarina	20 g	0	2,1
Chocolate	90 g	18	16,3

Absorção dos Lipídeos

Os produtos da digestão dos lipídeos são absorvidos pela mucosa intestinal onde são ressintetizados em triglicerídeos ou fosfolipídeos. Esse processo é chamado de “síntese de novo” e ocorre na mucosa intestinal após absorção do glicerol, ácido graxo livre e monoglicerídeos. Esses novos triglicerídeos são expelidos das vilosidades intestinais pelos quilomícrons.

Os ácidos graxos de cadeia média (com menos de 10 carbonos) cruzam a mucosa do estômago ou do intestino sem reesterificação e vão direto para o fígado.

A quantidade de lipídeo no sangue varia de 10 até o máximo de 200 mg/100 mL de plasma. A lipemia máxima ocorre após quatro horas da ingestão da dieta. A quantidade de colesterol varia de 140 a 260 mg por 100 mL de plasma.

Sendo os lipídeos apolares o suficiente para não circularem num meio aquoso como o plasma, há necessidade de compostos como as lipoproteínas e os quilomícrons para funcionarem como carregadores e levá-los aos tecidos. A albumina é proteína da estrutura das lipoproteínas que ajuda no transporte dos lipídeos

pela corrente sangüínea. A cirrose impede a síntese de albumina, portanto, a síntese de lipoproteínas.

Tanto os quilomícrons como as lipoproteínas contêm triglicerídeos, fosfolipídeos, vitaminas lipossolúveis e colesterol, envolvidos por um envelope de proteínas. As proteínas parecem formar uma camada externa em volta do lipídeo, estando ligadas a ele por forças não polares. Há quatro tipos de lipoproteínas no plasma sangüíneo: HDL, LDL, VLDL e quilomícrons (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 Composição das Lipoproteínas do Plasma Sangüíneo				
Lipoproteína	Densidade	Proteína (%)	Gordura (%)	Colesterol (%)
HDL	1,21	52	6	18
LDL	1,063	22	10	45
VLDL	1,006	10	55	16
Quilomícron	< 0,95	2	90	4

- *VLDL* é uma lipoproteína de muito baixa densidade, que contém maior porcentagem de gordura e menor de proteína e é responsável por levar energia para as células. Transportam os triglicerídeos sintetizados no fígado.
- *LDL* é uma lipoproteína de baixa densidade, que possui afinidade pela parede arterial. A alta ingestão de gordura saturada provoca aumento de LDL e, com isso, há risco de ataque cardíaco por ocorrer a aterosclerose, pois carregam colesterol para dentro do tecido arterial. É aconselhável ingerir uma dieta pobre em gorduras saturadas e em pouca quantidade. Danificam e estreitam as artérias. Altos teores de LDL formam placas de gordura chamadas ateroma, que reduzem o fluxo sangüíneo e, portanto o transporte de oxigênio.
- *HDL* é uma lipoproteína de alta densidade composta de maior porcentagem de proteína contém menos colesterol e tem como função proteger o indivíduo contra ataques cardíacos. Compete com LDL para ingressar nas células do tecido arterial. Funciona como o “caminhão de lixo” da célula, pois remove o colesterol dos tecidos, levando-o para o fígado para ser eliminado como sais biliares (fezes). Se a dieta é rica em gordura, principalmente saturada, o HDL não consegue carregar todo o colesterol ingerido, ficando acumulado nas artérias e provocando a aterosclerose. O exercício físico aumenta a HDL. Bloqueiam a entrada de LDL na célula.

- *Quilomícrons* são formados por maior quantidade de lipídeos e são os primeiros transportadores de gordura após sua digestão. Levam a gordura sintetizada na borda das escovas do intestino para o fígado.

Os triglicerídeos entram na corrente sangüínea e são decompostos em ácido graxo livre e glicerol pela lipase da parede dos vasos capilares. O ácido graxo livre é utilizado como fonte de energia pelas células musculares ou armazenado no tecido adiposo.

As gorduras absorvidas que não são requisitadas para uso imediato são estocadas em depósitos localizados no tecido adiposo para serem usadas em situações de emergência. No tecido adiposo ocorre hidrólise de triglicerídeos para a liberação de ácidos graxos que serão oxidados na mitocôndria com a finalidade de fornecer energia.

A baixa concentração de glicose na corrente sangüínea para suprir a necessidade energética do organismo provoca menor síntese de insulina pelo pâncreas. Então, dois hormônios, cortisol e epinefrina, liberam lipase para hidrolisar triglicerídeo do tecido adiposo. Os ácidos graxos liberados ligam-se à albumina e são levados para os tecidos do músculo.

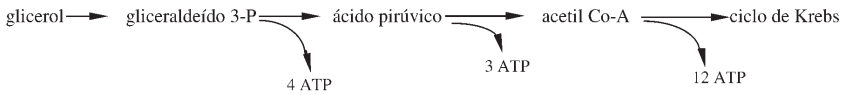
O óleo de oliva é rico em ácido oléico (ácido graxo monoinsaturado), cuja propriedade é diminuir LDL e aumentar HDL.

Metabolismo dos Ácidos Graxos

A maioria dos triglicerídeos absorvidos é removida pelo fígado para sofrer processos de produção e consumo de energia. Os dois processos mais importantes que envolvem os triglicerídeos são a β -oxidação e a síntese de ácidos graxos. A primeira etapa do catabolismo dos triglicerídeos é a hidrólise em ácido graxo e glicerol (Fig. 5.3).

O glicerol é utilizado para a síntese de novos ácidos graxos ou é transformado por uma enzima em um composto intermediário da glicólise, o glicerol-fosfato, terminando como ácido pirúvico.

O ácido graxo livre obtido é oxidado num processo chamado β -oxidação, na mitocôndria, envolvendo diversas enzimas e coenzimas, onde somente dois átomos de carbono do ácido graxo são oxidados de cada vez até a produção de acetil coenzima-A, cujo destino é o ciclo de Krebs para produção de água, gás carbônico e energia. A oxidação do glicerol fornece 19 ATP.



Quando ocorre diminuição da atividade do ciclo de Krebs e aumento da concentração de acetil-CoA, há formação de corpos cetônicos. Os corpos cetônicos são formados pelos ácidos acetoacético e dihidroxibutírico e pela acetona. A oxidação dos corpos cetônicos como fonte energética não ocorre no fígado, mas nos músculos, rins, cérebro e células nervosas, durante o jejum.

Quando o organismo depende inteiramente de gordura para produção de energia, grande quantidade de triglicerídeos vai para o fígado produzindo o ácido acetoacético, que não consegue ser oxidado completamente. Parte dele é, então, convertido em ácido dihidroxibutírico e acetona, que são acumulados. O excesso desses ácidos produz alterações no equilíbrio ácido-básico do organismo com aparecimento de acidose, isto é, acúmulo de ácido no sangue.

No jejum prolongado ou na diabetes, o decréscimo da utilização da glicose e a intensificação do catabolismo de ácidos graxos causam o acúmulo de acetil-CoA e, conseqüentemente, a cetose, isto é, o acúmulo de corpos cetônicos no sangue.

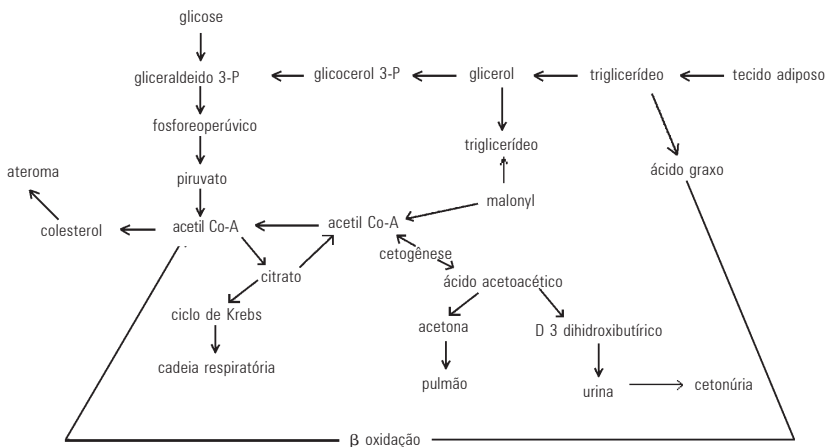
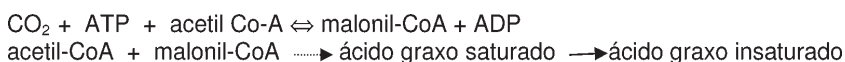


Fig. 5.3 – Metabolismo dos ácidos graxos.

Nessas condições, a acetona é eliminada pelos pulmões enquanto os ácidos são eliminados pela urina, fenômeno conhecido como cetonúria. Nessa situação há redução das reservas alcalinas do organismo, principalmente de sódio, que, combinado aos ácidos, é eliminado. A diminuição de álcalis do organismo provoca redução do pH do sangue, o que pode ser fatal.

O processo de síntese de ácidos graxos utiliza acetil-CoA, gás carbônico e energia para produzir os ácidos graxos saturados e insaturados que o organismo necessita, em fase aeróbica ou anaeróbica.



Os triglicerídeos são formados na mitocôndria a partir de glicerol, ácidos graxos ativados, isto é, ATP e Co-A. Os fosfolipídeos são formados a partir do ácido fosfatídeo.

O colesterol é sintetizado a partir de três moléculas de acetil-CoA e ATP no fígado, intestino, supra-renal, pele, aorta e órgãos reprodutores. É absorvido em quantidade influenciada pela disponibilidade de sais biliares.

A principal via de degradação do colesterol é a sua transformação em sais biliares. Toda dieta contendo lipídeos necessita de sais biliares para promover a digestão. Quando a quantidade de ácidos biliares enviada pelo fígado para promover essa digestão for maior que a necessária, parte dela voltará ao fígado. Se isso acontecer, a transformação de colesterol em ácidos biliares é inibida, ficando ele acumulado.

Qualquer substância ingerida que impeça a reabsorção dos ácidos biliares pelo fígado facilitará a maior conversão do colesterol hepático em sais biliares. Admite-se que algumas frações de fibras dietéticas possam desempenhar esse papel. Aproximadamente 0,8 g de colesterol se transformam em sais biliares diariamente.

O fígado compensa uma alta ingestão de colesterol pela síntese de pequenas quantidades e por converter mais colesterol em ácidos biliares.

Riscos Provocados pelo Acúmulo de Lipídeos

A qualidade de vida, o grau de industrialização, o fumo, a obesidade, as tensões nervosas e a vida sedentária contribuem para o aparecimento de doenças como: angina peitoris, enfarte, trombose cerebral, bloqueio da circulação das pernas, elevação da pressão arterial e catarata. O fumo causa entupimento dos capilares do aparelho respiratório, diminuindo a capacidade de oxigenação, hipertensão e problemas cardíacos.

O acúmulo de triglicerídeos no fígado é devido ao aumento da síntese de triglicerídeos, à baixa oxidação de ácidos graxos e à baixa captação de triglicerídeos e ácidos graxos do sangue para o tecido adiposo ou uma combinação de qualquer um desses fatores.

A presença de alta concentração de triglicerídeos no fígado pode causar lesões como fígado gordo. Mas isso pode também ser provocado por inanição, diabetes, drogas, venenos ou bebidas alcóolicas. A baixa ingestão de lipídeos combinada ao excesso de bebidas alcóolicas causam doenças hepáticas graves. Nos animais é mais comum o acúmulo de ácidos graxos saturados, e nos vegetais é observado maior quantidade de ácidos graxos insaturados.

O acúmulo de colesterol e seus derivados causam muitas doenças coronárias devido ao depósito desses compostos nas paredes das artérias, provocando dificuldades para a circulação sanguínea, processo conhecido como aterosclerose. À medida que o processo aterosclerótico progride, ocorre arteriosclerose, que é o endurecimento e, finalmente, a calcificação dos vasos sanguíneos.

A deposição de colesterol pode ser evitada priorizando-se a ingestão de gorduras vegetais, polinsaturadas e o baixo consumo de produtos lácteos, saturadas. Além disso, sob orientação médica, é possível fornecer compostos na dieta que mantenham o colesterol em solução, como:

- *Lecitina*: diminui a taxa de colesterol no sangue.
- *Colina, vitamina B12, metionina*: são substâncias que impedem a deposição de lipídeos no fígado. A vitamina B12 previne a anemia.

- *Ácido ascórbico, tocoferol*: são substâncias redutoras que previnem a formação de radicais livres e peróxidos que prejudicam os tecidos.
- *Neomicina*: droga que estimula a excreção fecal de sais biliares.
- *Colestamina*: droga que absorve ácidos biliares.
- *Ácido nicotínico*: interfere na síntese de colesterol pelo fígado.

Os valores referência para adultos de colesterol, triglicerídeos e glicemia estão dispostos na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 Valores Referência de Colesterol, Triglicerídeos e Glicemia, para Adultos, em mg%			
Lípídeos	Desejáveis	Limítrofes	Aumentados
Triglicerídeos (TRG)	< 200	—	> 200
Colesterol total (TC)	< 200	200 -239	> 240
HDL	> 35	—	—
LDL	< 130	130 -159	> 160
Glicemia (GLU)	< 115	—	—

O nível de colesterol sérico é afetado por certos distúrbios do próprio organismo, como:

- O excesso da secreção de hormônios da glândula tireóide diminui a taxa de colesterol.
- O diabetes aumenta a taxa de colesterol por causa do aumento da mobilização de lipídeos.
- Os problemas renais aumentam a concentração de triglicerídeos e fosfolipídeos no sangue por causa da menor remoção de lipoproteínas, devido à inibição da lipase lipoprotéica.

Pode-se expressar o perfil de risco cardíaco pelo Índice de Castelli através da relação: colesterol total/colesterol bom (HDL). Quando essa relação for menor que o valor ideal de 3,5, o risco coronariano é baixo. Mas se a relação for maior que 4,5, valor indesejável, significa que o risco coronariano é alto. Já a quantidade de triglicerídeo total na corrente sangüínea deve estar entre 10 e 200 mg%.

O acúmulo de gordura nas artérias provoca fluxo sangüíneo dificultado, acarretando aumento da pressão arterial com aumento

da retenção de líquido por deficiência renal, podendo levar à morte por hipertensão. Nessas condições, é recomendada a redução da ingestão de sal com a dieta, para reduzir a retenção de líquido.

Uma boa recomendação para a manutenção dessa relação ideal seria ingerirmos dois copos de vinho tinto por dia ou óleo de peixe com ω -3 para aumentar HDL e reduzir LDL.

Homens e mulheres diabéticos têm risco cardiovascular triplicado, e por essa razão é necessária a redução de LDL desses indivíduos.

Exemplo Clínico

Um indivíduo masculino de 45 anos, fumante, apresentou em seu exame de sangue de jejum TC de 195 mg%. Se só tivesse realizado o TC, esse indivíduo não receberia nenhuma abordagem terapêutica, uma vez que seu TC foi inferior a 200 mg%, e, portanto, considerado desejável. A realização do HDL revelou taxa de 19 mg%. Por esta razão, foi solicitado exame de perfil completo de lipídeos. Foram encontrados os valores de 157 mg% para LDL e 90 mg% para TRG. Nessa condição, o indivíduo passa a pertencer ao grupo de risco e merece intervenção dietética e/ou medicamentosa para reduzir as taxas de LDL a valores inferiores a 130 mg%.

Cálculo energético da β oxidação

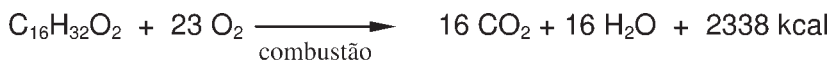
A energia fornecida depende do ácido graxo que está sendo oxidado. Tomando como exemplo a oxidação do ácido palmítico -C₁₆H₃₂O₂.

Como somente há oxidação de dois átomos de carbono de cada vez e são 16 carbonos, ocorrem sete ciclos completos. Cada ciclo fornece 5 ATP. Portanto, são produzidos 35 ATP. Mas um ATP é consumido na fase inicial para energia de ativação. Então, o rendimento líquido é de 34 ATP.

Além disso, é formado um acetil-CoA em cada ciclo, totalizando oito moléculas de acetil-CoA, cujo destino é o ciclo de Krebs. Cada volta do ciclo produz 12 ATP. Então, a energia produzida no ciclo de Krebs será de 96 ATP.

A energia total produzida pelo ácido palmítico é de $34 + 96 = 130$ ATP \times 8 kcal/mol de ATP = 1040 kcal. O calor de combustão do ácido palmítico é de 2338 kcal.

88 • Capítulo 5



A eficiência energética desse composto é de: $(1.040 / 2.338) \times 100 = 48\%$. O restante da energia produzida é liberado na forma de calor.

A energia de combustão fornecida por um mol de ácido palmítico (peso molecular = 256 g) é $2.338/256 \cong 9$ kcal/g no calorímetro, e a energia da oxidação desse mesmo ácido na oxidação no organismo é de $1.040/256 \cong 4$ kcal/g. A diferença de energia, de 4 para 9 kcal, não é suficiente para formar um ATP, sendo armazenada na forma de calor.

Efeito dos Hormônios no Metabolismo dos Ácidos Graxos

Os hormônios são derivados de esteróis (colesterol); lipídeos (prostaglandinas); glicoproteínas (eritropoína, que atua na secreção das hemáceas). No homem, os hormônios contribuem para o maior desenvolvimento de ateromas enquanto que nas mulheres, atuam como protetores do entupimento arterial.

Os efeitos mais comuns dos hormônios no metabolismo são:

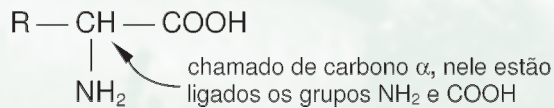
- A baixa concentração de insulina provoca baixa síntese de gordura no tecido adiposo porque ativa lipase lipoprotéica produzindo hidrólise de triglicerídeos para produção de energia (aumenta a taxa de colesterol).
- A tirosina aumenta a mobilização de ácidos graxos pelo aumento da taxa do metabolismo energético de cada célula (diminui a taxa de colesterol).
- Os glicocorticóides aumentam a taxa de mobilização dos lipídeos por aumentar a permeabilidade da membrana das células adiposas (renal).
- Os adrenocorticóides aceleram a mobilização de gorduras porque estimulam os glicocorticóides (renal).
- A adrenalina aumenta a taxa de mobilização de gorduras porque libera ácido graxo do tecido adiposo para o metabolismo.

O exercício físico aumenta a HDL por causa da maior síntese de proteína e diminui a LDL por causa do gasto de gordura do tecido adiposo para fornecer energia. Por isso, a relação colesterol total/HDL diminui, minimizando o risco coronariano.

Proteínas

Proteína significa o que mantém o primeiro lugar, isto é, de primeira importância. Foi a primeira substância reconhecida como parte vital dos tecidos vivos.

Proteínas são moléculas de alto peso molecular, formadas pela polimerização de aminoácidos e constituem 50% do peso celular. São formadas por carbono, hidrogênio e oxigênio e contêm cerca 16% de nitrogênio e ainda podem ter elementos como: fósforo, ferro, cobalto e enxofre. A representação de um aminoácido é:



A massa corporal humana é formada por 12% a 15% de proteínas. A maior parte, aproximadamente 65% das proteínas, encontra-se no tecido muscular. O restante se distribui nos tecidos moles, nos ossos, nos dentes, no sangue e em outros fluidos orgânicos.

As proteínas têm papel importante no organismo nos seguintes sistemas:

- Funcionam como biocatalizadores controlando processos como: crescimento, digestão, absorção, transporte, reprodução e atividades metabólicas. Exemplo: enzimas e hormônios.
- Participam da manutenção da pressão osmótica do sangue. As duas formas (COO^- e NH_3^+) apresentam-se equilibradas num meio aquoso:

- Em meio ácido: $\text{RCHCOOH}(\text{NH}_3^+)$;
 - Em meio básico: $\text{RCH}(\text{NH}_2)\text{COO}^-$;
- Participam da formação de anticorpos que têm função de defesa.
 - Funcionam como elementos estruturais da pele, dos ossos e dos músculos.
 - Fazem o transporte de substâncias, como lipídeos, oxigênio, ferro: albumina, lipoproteínas, mioglobina.
 - Agem como neurotransmissores em específicos tipos de neurônios ou regiões do cérebro. Glutamato é um dos transmissores do sistema nervoso central. GABA atua em sinapses inibitórias no cérebro dificultando a despolarização dos neurônios e provocando sedação.
 - São elementos da estrutura de hormônios. Tiroxina e triiodotironina são hormônios derivados da tirosina que estimulam o metabolismo nos tecidos.
 - Alguns aminoácidos tem papel relevante no sabor dos alimentos, contribuindo para o desenvolvimento de aromas. Alguns são doces, como a glicina, alanina, serina, triptofano. Outros apresentam gosto amargo, como histidina, metionina, leucina, fenilalanina. Enquanto outros, são insípidos, como treonina, isoleucina, lisina, valina. Há também os que se apresentam com gosto sulfuroso ou metálico como, cisteína, metionina.

As Ligações na Proteína

Os aminoácidos sofrem reação de polimerização para formar uma proteína pela união da carboxila de um aminoácido com o grupo amino do outro aminoácido (Fig. 6.1).

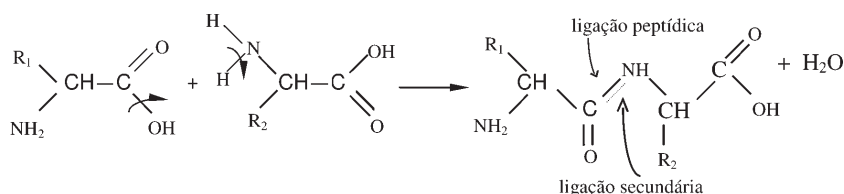


Fig 6.1 – Reação de polimerização de aminoácidos.

Ligação peptídica primária é a que une os aminoácidos, através da ligação carbono-nitrogênio ($-C-N-$), para formar polipeptídeos. A ligação peptídica da cadeia de aminoácidos determina a estrutura primária da proteína.

A atração entre o grupo amínico (positivo) e o grupo carboxila (negativo) forma a estrutura secundária estabilizada por ligações de hidrogênio, na forma helicoidal ou foliar. A forma helicoidal é formada por ligações de hidrogênio intramolecular, fazendo com que a estrutura se enrole, originando a α -hélice. Como a α -hélice é uma estrutura de menor energia livre, sua formação é mais espontânea e depende da natureza e da seqüência dos aminoácidos ou dos radicais envolvidos na síntese protéica. A estrutura foliar é resultante da ligação de hidrogênio intermolecular quase perpendicular ao eixo principal da cadeia peptídica.

A estrutura terciária é o arranjo espacial da cadeia polipeptídica Fig. 6.2. As cadeias laterais dos diferentes aminoácidos projetam-se para fora e perpendicularmente ao eixo central da hélice. Os radicais "R" dos aminoácidos também vão exercer interações entre si, fazendo com que a hélice dobre a si mesma, formando então a estrutura terciária da proteína (estruturas globulares rígidas ou fibrosas). Os radicais hidrofóbicos ficam localizados no interior da hélice.

As ligações que estabilizam a estrutura terciária da proteína são:

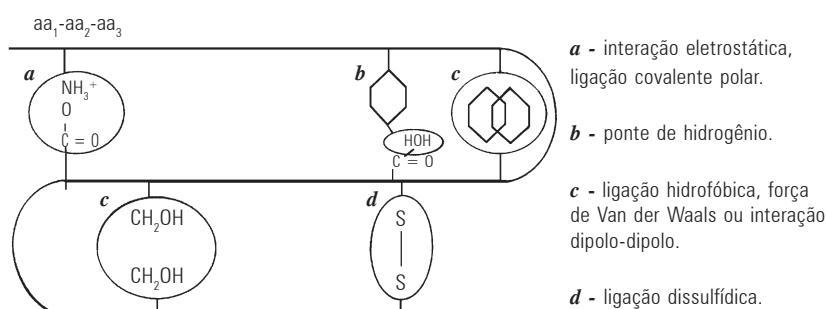


Fig. 6.2 – Estrutura terciária: tipos de ligação para estabilização da α -hélice.

A polimerização de duas ou mais cadeias polipeptídicas resulta na estrutura quaternária da proteína. Pode formar uma estrutura globular: tem forma circular, isto é, enrola-se, como um novelo. Ou forma uma estrutura fibrosa com porções cristalinas Fig. 6.3.



Fig. 6.3 – *Estrutura quaternária da proteína.*

A desnaturação é o processo de alteração da estrutura tridimensional (estruturas quaternárias e terciárias) causado pelo calor ou por agentes químicos ou físicos, sem alteração da seqüência de seus aminoácidos. A desnaturação pode ser um processo reversível ou irreversível, dependendo da ação do agente desnaturante.

Uma função importante que geralmente é negligenciada na discussão sobre proteína é o seu papel como fonte de aminoácidos essenciais, necessários ao homem e aos animais. Tais aminoácidos são facilmente sintetizados por plantas, mas devem ser ingeridos pelo homem na sua dieta.

São vinte os aminoácidos que podem ser encontrados na natureza e a quantidade, tipo e disposição em que são encontrados na cadeia determinam as várias proteínas existentes Fig. 6.4. Os aminoácidos naturais são encontrados somente na natureza e são somente encontrados na forma "L". Os aminoácidos na forma "D" não são aproveitados pelo organismo humano. Com o aquecimento, a alta temperatura, a forma "L" é convertida em "D", diminuindo o valor nutricional da proteína. A forma "D" ou "L" depende da posição de grupos diferentes ligados ao carbono α (distribuição assimétrica de elétrons).

No organismo humano existem aproximadamente 10^{10} a 10^{12} combinações de proteínas. Uma proteína com peso molecular de 13.000 teria um comprimento igual a 400 vezes a sua espessura, caso ela não se enrolasse.

Há oito aminoácidos classificados como essenciais porque o organismo não consegue sintetizá-los. São eles: valina, lisina, treonina, leucina, isoleucina, triptofano, fenilalanina e metionina. A histidina é considerada essencial para crianças.

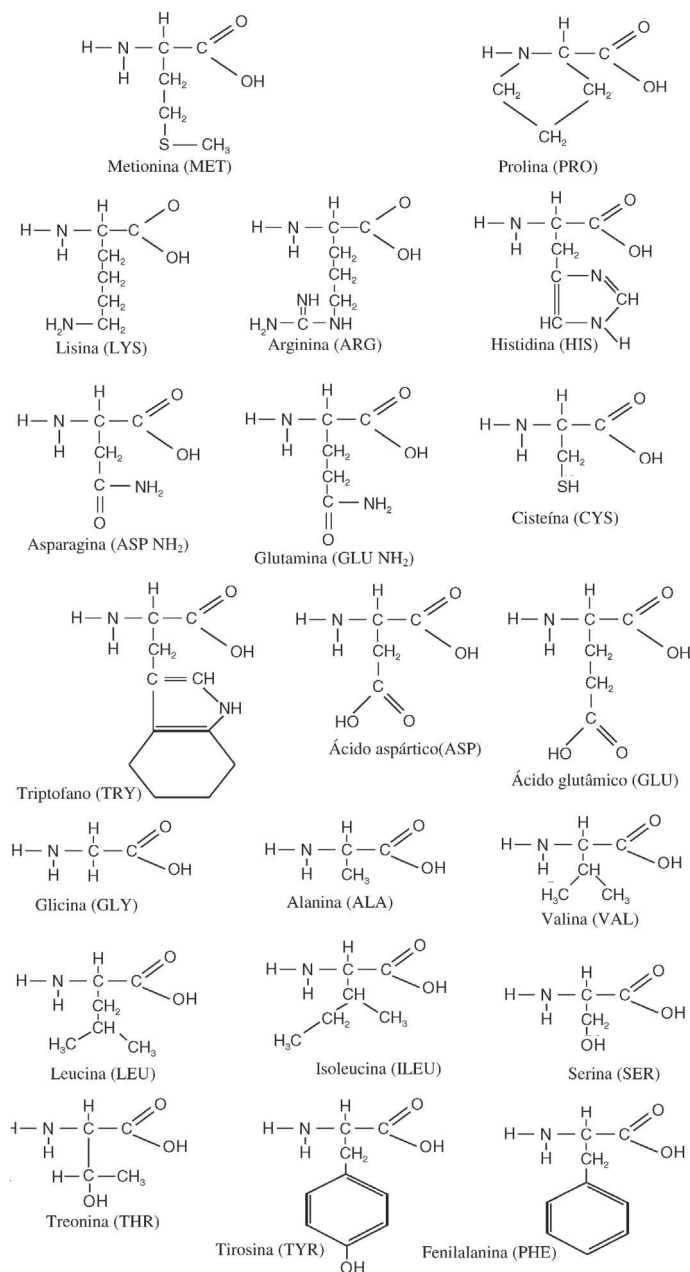


Fig. 6.4 – Estrutura dos vinte aminoácidos naturais que compõem as proteínas.

Classificação das Proteínas

São classificadas de acordo com sua solubilidade.

- *Proteínas simples*: por hidrólise fornecem somente aminoácidos.
 - Fibrosas: têm função estrutural.
 - a. Colágeno: encontrada no tecido conjuntivo. Produz gelatina.
 - b. Elastina: semelhante ao colágeno. Não produz gelatina. É a proteína das artérias.
 - c. Queratina: cabelo.
 - Globulares:
 - a. Anticorpos: imunoglobulinas.
 - b. Hormônios: insulina.
 - c. Albumina: lipoproteínas.
- *Proteínas conjugadas*: por hidrólise fornecem outros componentes além dos aminoácidos.
 - *Lipoproteína*: lipídeo mais proteína. Tem função estrutural e de transporte. Exemplo: colesterol e fosfolípidos.
 - *Glicoproteína*: açúcar mais proteína. Aumenta a solubilidade da proteína e é responsável pela alta viscosidade da clara de ovo. Exemplo: ovomucina.
 - *Metaloproteína*: metais como cobre, magnésio, zinco e ferro ligado a proteína. Os metais facilitam o transporte das proteínas pelo organismo. Exemplo: hemoglobina (Fe).
 - *Fosfoproteína*: o fósforo mantém-se ligado ao cálcio, impedindo a precipitação pelo aquecimento. O fósforo mantém a estabilidade da molécula no pH natural do fluido. A presença de grupos fosfatos dificulta a ação de enzimas digestivas, resultando na hidrólise parcial dos fosfolípidos que podem ter importante papel na fixação do cálcio. Exemplo: caseína (leite), vitelina (ovo).
 - *Núcleoproteína*: formada por proteínas básicas mais ácidos nucléicos. São encontradas no núcleo celular.

Funções Importantes de Alguns Aminoácidos

- *Triptofano*: é o precursor da tiroxina e importante para a formação da adrenalina.

- *Arginina e citrulina (aminoácidos não essenciais)*: são importantes no ciclo da uréia.
- *Glicina*: combina-se com substâncias tóxicas tornando-as inócuas que são, então, executadas. Também é utilizada na síntese da hemoglobina e sais biliares.
- *Histidina*: importante para a síntese de histamina, que causa vasodilatação no sistema circulatório.
- *Creatina*: formada a partir da arginina, metionina e glicina, funcionando como reserva de ATP.
- *Glutamina, ácido glutâmico, asparagina*: funcionam como reserva do grupo NH_2 .
- *Fenilalanina*: responsável pela síntese dos hormônios, tiroxina e adrenalina.

Digestão das Proteínas

No estômago, o ácido clorídrico presente confere ao meio um pH entre 1 e 2. Essa condição provoca a desnaturação da proteína, abrindo a cadeia, isto é, a quebra as estruturas quaternárias e terciárias, facilitando assim a ação das enzimas digestivas sobre a proteína. Para as enzimas digestivas agirem é necessário que as ligações peptídicas estejam expostas para a atuação dessas enzimas.

Primeiramente, as estruturas quaternária e terciária são rompidas pelo efeito do pH do ácido clorídrico do estômago (Fig. 6.5).

Depois, então, as proteínas ingeridas, de cadeia aberta, sofrem a ação de uma enzima específica do estômago, a endopeptidase, chamada pepsina, que é produzida por glândulas situadas nas paredes do estômago e que hidrolisa aminoácidos aromáticos do tipo tirosina e fenilalanina.

A pepsina é considerada uma endopeptidase porque hidrolisa ligações peptídicas do interior da cadeia de aminoácidos, formando moléculas menores de polipeptídeos que seguirão para o intestino delgado. Seu pH ótimo situa-se entre 1 e 2.

A digestão das proteínas é completada no intestino delgado (duodeno), que mede aproximadamente 6,7 metros e compõe-se de três seções distintas: duodeno, jejuno (onde ocorre a absorção) e íleo (onde há digestão por bactérias e absorção de água e minerais).

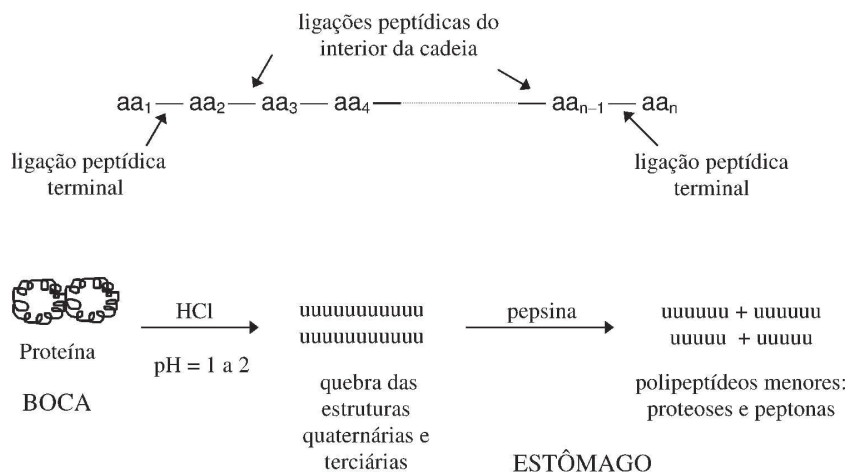


Fig. 6.5 – Digestão enzimática de uma cadeia polipeptídica.

Os polipeptídeos provenientes do estômago sofrem no intestino a ação de três sucos digestivos: do pâncreas, do intestino delgado e do fígado. Esses sucos são alcalinos e, por isso, elevam o pH dos conteúdos ácidos do estômago a um valor próximo da neutralidade ($\text{pH} = 8$).

No intestino delgado, os polipeptídeos provenientes do estômago sofrem primeiramente a ação das enzimas tripsina (age na ligação peptídica onde a carboxila seja fornecida por um aminoácido dibásico como lisina e arginina), elastase (seletiva para as cadeias laterais menores) e quimotripsina (seletiva para ligações peptídicas no lado $-\text{COOH}$, de cadeias laterais aromáticas de tirosina, triptofano, fenilalanina e de grandes radicais hidrofóbicos, como a metionina) (Fig. 6.6).

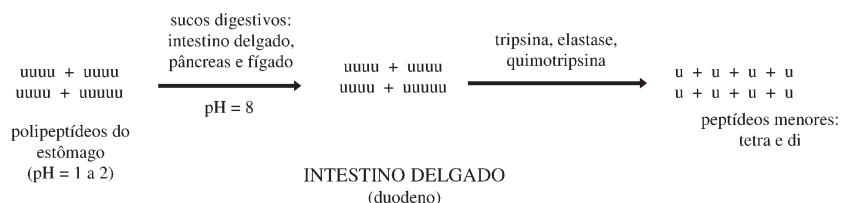


Fig. 6.6 – Digestão dos polipetídeos no intestino delgado.

Todas essas enzimas são endopeptidases porque hidrolisam as ligações peptídicas do interior da molécula formando peptídeos pequenos.

Ainda no intestino delgado esses peptídeos menores sofrerão a ação de dipeptidases e exopeptidases (Fig. 6.7).

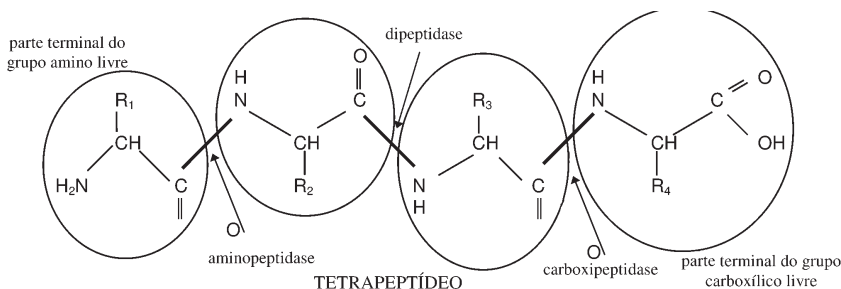


Fig. 6.7 – Digestão de um tetrapeptídeo.

São consideradas exopeptidases as enzimas que hidrolisam as ligações peptídicas terminais, ou seja, das pontas da cadeia. As duas exopeptidases são a carboxipeptidase e a aminopeptidase.

A carboxipeptidase ataca a parte terminal da cadeia que possui o grupo carboxílico livre e libera, assim, esse aminoácido terminal da cadeia peptídica. A aminopeptidase ataca a parte terminal da cadeia que possui o grupo amino livre.

Se, ao final da hidrólise protéica, sobrar um dipeptídeo, a dipeptidase será a responsável por essa hidrólise, liberando, então, os aminoácidos livres.

Ao final, após a ação dessas enzimas, as proteínas ingeridas são totalmente hidrolisadas obtendo-se aminoácidos livres e peptídeos não digeríveis (Fig. 6.8).

Os fatores antinutricionais das proteínas devem ser inativados por tratamento térmico para não afetar a digestibilidade e o aproveitamento pelo organismo. De toda proteína digerida, da dieta ou de origem endógena, 10% é eliminada nas fezes.

A digestibilidade depende da estrutura da proteína, das condições do tratamento térmico e dos fatores antinutricionais. A digestibilidade média das proteínas de uma dieta é de 92% (Tabela 6.1).

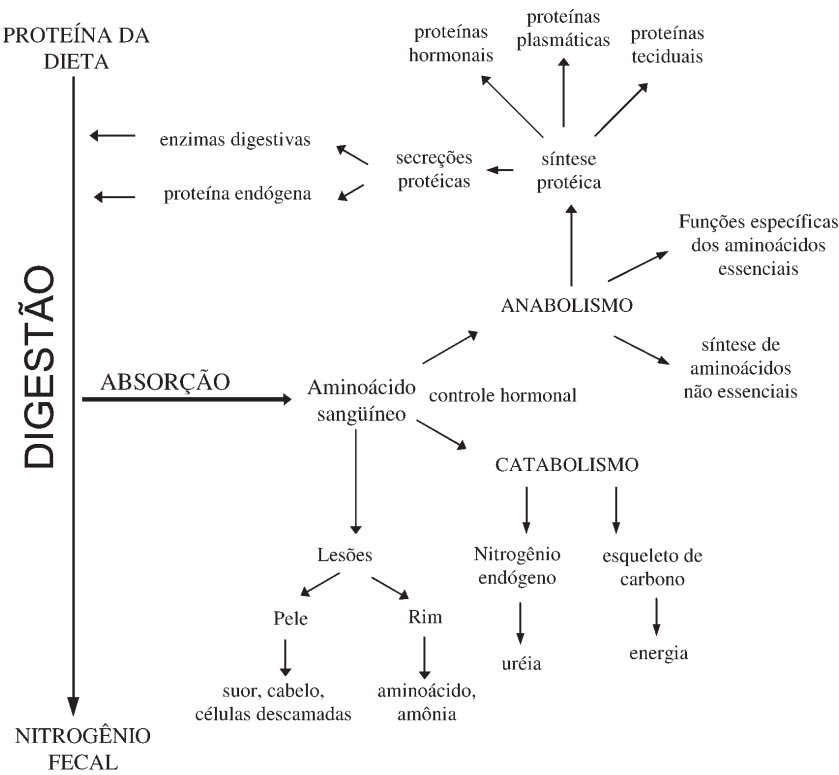


Fig. 6.8 – Distribuição proteica no organismo: digestão e absorção.

Tabela 6.1		
Digestibilidade (D) de Fonte Protéica Animal e Vegetal		
Fonte	Alimento	D (%)
Animal	Ovo	90
	Leite	97 -90
Vegetal	Milho	82 -67
	Feijão	80 -85

Se não houver glicose ou ácido graxo para produção de energia ocorrerá degradação da proteína tissular do pâncreas, isto é, as enzimas. Se não há enzimas, conseqüentemente não há digestão de proteína ingerida ou endógena e, portanto, não ocorrerá absorção. O indivíduo tem como sintoma a diarréia.

Absorção das Proteínas

Os aminoácidos livres que atravessam as paredes do intestino delgado são absorvidos, passam para a circulação e serão utilizados para a síntese das proteínas necessárias ao organismo. Os peptídeos não digeridos não podem ser absorvidos e são, portanto, eliminados através das fezes.

A absorção ocorre no interior do jejuno e do íleo, onde existem projeções minúsculas, moles, semelhantes a tufo de pêlos, denominados vilosidades (Fig. 6.9). Os aminoácidos livres são absorvidos por transporte ativo utilizando o mecanismo de co-transporte de sódio, com consumo de energia, e levados pela corrente sanguínea até o fígado para posterior distribuição às células.

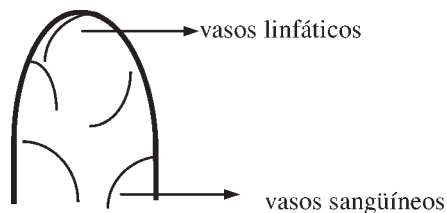


Fig. 6.9 – Vilosidade do intestino.

A concentração de aminoácidos na corrente sanguínea é de 30 mg%. Essa concentração é baixa porque os aminoácidos são prontamente absorvidos assim que chegam às células. O fígado armazena aminoácido temporariamente, apenas para regular a sua concentração no sangue.

Através delas, os nutrientes – no caso, os aminoácidos – são absorvidos, passando do interior do intestino delgado para a corrente sanguínea e levados para o fígado, onde são convertidos em formas utilizáveis pelas células do corpo. O fígado é o principal regulador do catabolismo de aminoácidos essenciais.

A síntese e a degradação de proteínas são constantes no organismo, e as proteínas que não são vasos linfáticos utilizadas são eliminadas.

A taxa média diária de um adulto de renovação de proteína é de aproximadamente 3% do total corpóreo de proteína. Na pele são perdidas e renovadas vasos sanguíneos cerca de 5 g de proteínas diariamente. No sangue, 20 g; no trato intestinal, 70 g; e na massa muscular, 25 g.

A amônia produzida pela oxidação dos aminoácidos é eliminada através da uréia. O ciclo da uréia ocorre no fígado (Fig. 6.10).

Após a retirada do nitrogênio do aminoácido, a cadeia carbônica segue para o ciclo de Krebs, onde ocorre a oxidação total do aminoácido, produzindo energia. As cadeias de alguns aminoácidos são transformadas em piruvato, daí à glicose e depois à glicogênio, pelo processo da gliconeogênese. Outros aminoácidos dão origem a acetil Co-A e que, por sobrecarregar o ciclo, formam corpos cetônicos que serão posteriormente eliminados.

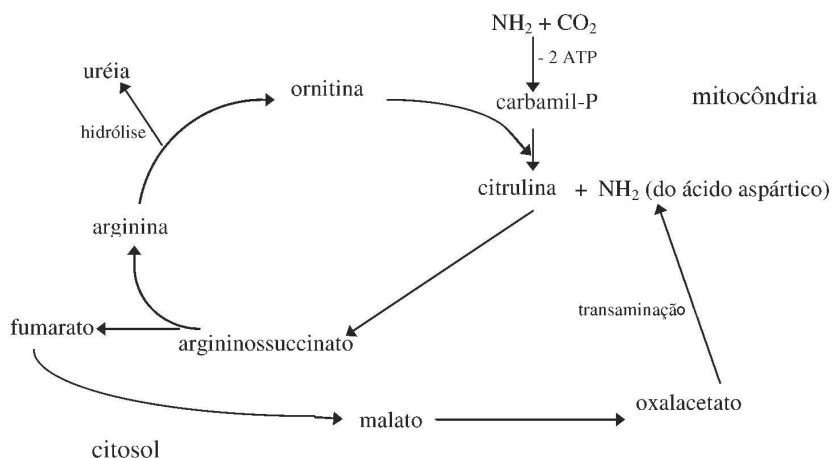


Fig. 6.10 – Diagrama do ciclo da uréia.

Metabolismo das Proteínas e dos Aminoácidos para Obtenção de Energia

Três reações estão envolvidas no metabolismo dos aminoácidos: desaminação, transaminação e descarboxilação, que acontecem nas células musculares e hepáticas Fig. 6.11.

- **Desaminação:** essa reação acontece no fígado onde o grupo NH_2 é retirado do aminoácido através de desaminases. Serve para coletar aminoácidos de outros aminoácidos sob a forma de ácido glutâmico. Essas reações ocorrem no citoplasma e sendo o ácido glutâmico permeável à membrana mitocondrial, entra e sai na mitocôndria com facilidade. O ácido glutâmico é responsável pela aminação de cadeias carbônicas para formar

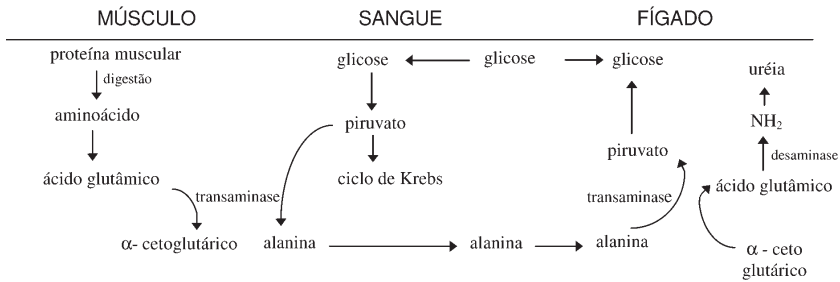


Fig. 6.11 – Diagrama da produção de glicose a partir de proteína muscular pelo o ciclo de Krebs.

novos aminoácidos no citoplasma. O ácido glutâmico é um composto intermediário do ciclo de Krebs. A desaminação pode ser oxidativa ou não oxidativa. A desaminação oxidativa ocorre através das enzimas laminoácido oxidase resultando em ácido carboxílico e gás carbônico. A desaminação não oxidativa se dá em microrganismos e plantas Fig. 6.12.

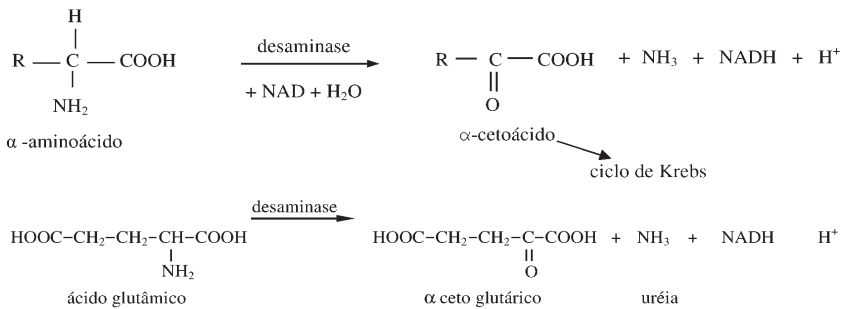


Fig. 6.12 – Reação de desaminação das proteínas.

- Transaminase: o nitrogênio é transferido de um α-aminoácido para um α-cetoácido, resultando no ácido glutâmico, que é desaminado, produzindo amônia. Ocorre tanto no citoplasma quanto na mitocôndria Fig. 6.13.

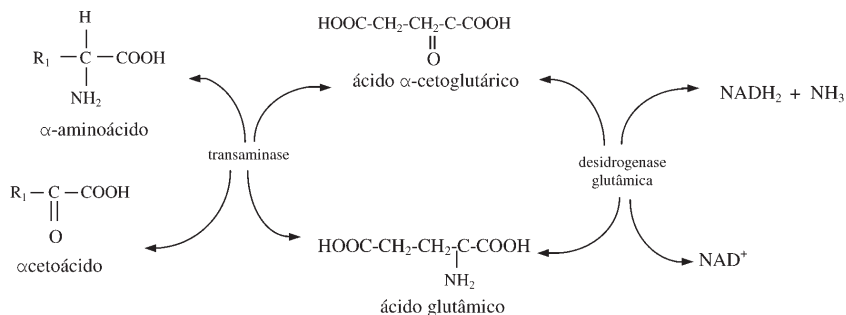
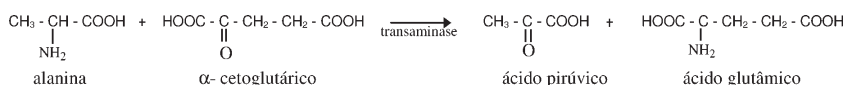


Fig. 6.13 – Reação de transaminação das proteínas.

Exemplo:

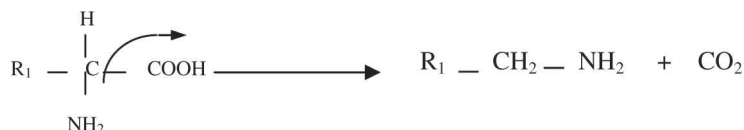


A transaminase permite a síntese de aminoácidos não essenciais a partir de uma cadeia carbônica proveniente da glicose. A amônia produzida é excretada via uréia.

A cadeia carbônica, livre de NH_2 , segue o destino do ciclo de Krebs. Alguns aminoácidos como alanina, treonina, serina e glicina são transformados em piruvato, podendo chegar a glicogênio. Outros aminoácidos como glicina, arginina e metionina participam da síntese de creatina que é usada para regenerar ATP muscular. Seu produto de excreção é a creatina fosfato, que funciona como indicador de degradação tecidual. Os aminoácidos ramificados, como valina, leucina e isoleucina são transformados em acetil Co-A, podendo originar corpos cetônicos.

O ácido glutâmico é o mais usado nas reações de desaminação e transaminação por ser facilmente permeável à membrana mitocondrial, ficando, assim, responsável pela aminação de várias cadeias carbônicas para formar novos aminoácidos. Ele sai da mitocôndria para buscar NH_2 e levá-lo para a mitocôndria para a síntese de aminoácido.

- Descarboxilação: produção de compostos aminos, farmacologicamente ativos como:



- *Dopaminas*: neurotransmissores sintetizados a partir da tirosina. Importantes na síntese de adrenalina, substância vasoconstritora lançada no sangue quando o indivíduo se torna enfurecido ou amedrontado;
- *Histamina*: vasodilatador, sintetizado a partir da histidina. Responde às reações alérgicas e inflamatórias
- Tiramina.
- *Serotonina*: inibidor sináptico das terminações nervosas, sintetizado a partir do triptofano. Responsável pela percepção da dor, distúrbios afetivos, regulação do sono, temperatura e pressão.
- *Endorfina*: responsável pela supressão da dor no hipotálamo.

Síntese de Proteínas

É dirigida pelo DNA que contém, em forma codificada, a informação necessária para determinar a seqüência específica dos aminoácidos constituintes da cada proteína. A maior parte da síntese protéica ocorre no citoplasma.

Proteínas sintetizadas pelo nosso organismo:

- Proteínas estruturais: as mais importantes desse grupo são o colágeno e a elastina, encontradas na pele, na cartilagem e nos ossos dos animais.
- Proteínas contráteis: encontradas nos tecidos dos animais (actina e miosina), principalmente no músculo.
- Anticorpos: são proteínas que participam do mecanismo de defesa dos animais em resposta a qualquer material estranho que invada o corpo. O material estranho é chamado de antígeno. O anticorpo une-se ao antígeno, inativando-o. Assim, este não pode mais provocar danos ao organismo do animal. Essas proteínas de defesa, ou seja, os anticorpos, são classificados como γ -globulinas.

Proteínas sangüíneas:

- *Albuminas*: mantêm a capacidade tampão do sangue, estrutura das lipoproteínas.
- *Fibrinogênio*: desempenha papel na coagulação do sangue.
- *Hemoglobina*: carrega o oxigênio dos pulmões para todas as células do corpo.
- Hormônios: regulam muitas reações metabólicas.

- Enzimas: catalisam reações de degradação e síntese no organismo.

Destino Metabólico dos Esqueletos Carbônicos dos Aminoácidos Avaliação da Qualidade Nutricional da Proteína

A eficiência com a qual a proteína é utilizada para o crescimento e manutenção dos tecidos determinará a sua qualidade nutricional. Assim, todos os parâmetros utilizados para se avaliar a qualidade nutricional de uma proteína tentam prever a eficiência da utilização dessa proteína.

A qualidade de uma proteína é determinada em primeiro lugar pela quantidade de aminoácidos essenciais que entram na sua composição, mas outros fatores também determinam a qualidade da proteína, como a disponibilidade e o balanço dos aminoácidos essenciais.

Quanto à disponibilidade dos aminoácidos essenciais, devemos lembrar que uma baixa digestibilidade da proteína torna os aminoácidos não disponíveis à absorção. Esses, então, serão eliminados nas fezes, diminuindo a qualidade da proteína.

Por balanço dos aminoácidos entende-se como a proporção que os aminoácidos observam entre si, e que numa proteína de

Tabela 6.2
Produto Final de Conversão dos Aminoácidos nos
Processos Metabólicos

Aminoácido	Produto Final
Alanina, serina, cisteína, glicina, treonina (2)*	Ácido pirúvico
Leucina (2)	Acetil Co-A
Fenilalanina, tirosina, leucina, lisina, triptofano (4)	Ácido acetoacético
Arginina, prolina, histidina, glutamina, ácido glutâmico (5)	Ácido α -cetoglutárico
Metionina, isoleucina, valina (4)	Succinil Co-A
Fenilalanina, tirosina (4)	Fumarato
Asparagina, ácido aspártico (4)	Ácido oxalacético

boa qualidade nutricional é próxima ao balanço das proteínas que serão sintetizadas pelo nosso organismo.

Proteínas completas são aquelas que contêm todos os aminoácidos essenciais em quantidade suficiente e na proporção correta para manter o equilíbrio de nitrogênio e permitir o crescimento. Exemplo: ovoalbumina do ovo, caseína do leite, as proteínas da carne, do peixe e das aves. As proteínas que não fornecem essa condição são chamadas de proteínas incompletas, como as proteínas dos vegetais e dos cereais.

Para medir qualidade de uma proteína há vários métodos, que se dividem em três grupos: químicos, microbiológicos e biológicos.

Método Microbiológico de Avaliação da Qualidade Proteica

Nesse método, primeiramente tem-se que verificar a essencialidade do aminoácido ao microrganismo que se quer analisar. Para isso, incuba-se o inóculo da cultura do microrganismo em um meio contendo todos os nutrientes exigidos pelo microrganismo, exceto o aminoácido que se quer avaliar. Se o aminoácido for absolutamente essencial ao microrganismo, ele não irá se desenvolver nesse meio e assim conclui-se que esse aminoácido é essencial ao microrganismo. Tem-se, então, o ponto zero da curva de crescimento do microrganismo (Fig. 6.14).

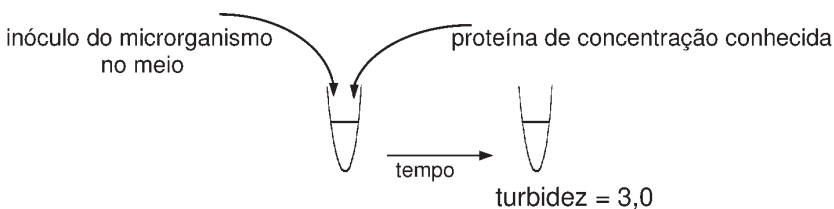
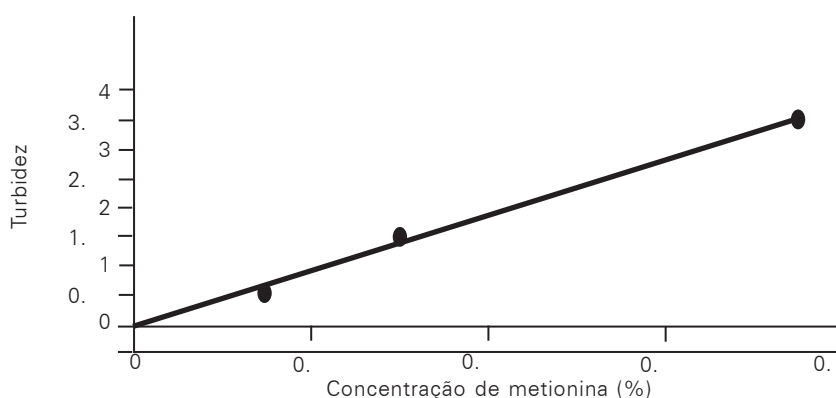


Fig. 6.14 – Determinação da biodisponibilidade do aminoácido.

Em seguida, uma curva padrão de crescimento do microrganismo escolhido é graficada, introduzindo quantidades crescentes do aminoácido no meio de crescimento do microrganismo. O crescimento é avaliado medindo-se a turbidez da suspensão de células que se desenvolveram, nas diferentes concentrações do aminoácido em estudo. Deve-se manter o mesmo tempo de crescimento e as mesmas condições para todos os tubos.

Construída a curva padrão, é possível determinar a concentração de metionina disponível, o aminoácido limitante na proteína de soja. Para isso, basta incubar, de forma idêntica à realizada na curva padrão, o inóculo do microrganismo em um meio contendo a proteína teste em concentração conhecida e medir o crescimento do microrganismo, através da turbidez, no mesmo período de incubação utilizado na curva padrão. O resultado obtido é comparado ao da curva padrão e obtém-se então a concentração do aminoácido disponível na proteína estudada (Fig. 6.15).



Métodos Químicos de Avaliação de Qualidade Protéica

Score Químico (SQ):

Nesse método, a qualidade da proteína é determinada comparando-se sua composição, em aminoácidos essenciais, com a dos aminoácidos essenciais de uma proteína padrão ou ideal.

Como padrão, pode-se utilizar a proteína do ovo, do leite, da carne ou a proteína determinada pela FAO (*Food Agriculture Organization*). A proteína padrão é considerada ideal sob o ponto de vista nutricional, de alto valor biológico, com composição de aminoácidos completamente utilizáveis para os propósitos anabólicos e de manutenção. É uma proteína considerada completa, Tabela 6.3.

O valor biológico é definido como a proporção de nitrogênio absorvida que é retida pelo organismo para manutenção do crescimento.

Então, para se determinar a qualidade nutricional, por exemplo, da proteína de soja, por esse método, deve-se comparar as

<p>Tabela 6.3 Composição dos Aminoácidos Essenciais das Proteínas Padrão</p>					
Aminoácido Essencial	FAO	Ovo	Leite Humano	Leite de Vaca	Carne
Isoleucina	40	54	46	47	48
Leucina	70	86	93	95	81
Lisina	55	70	66	78	89
Metionina + cisteína	35	57	42	33	40
Fenilalanina + tirosina	60	93	72	102	80
Treonina	40	47	43	44	46
Triptofano	10	17	17	14	12
Valina	50	66	55	64	50
Histidina	-	22	26	27	34

Fonte: Sgarbieri/FAO/WHO, 1973

quantidades dos aminoácidos essenciais presentes na soja com as quantidades correspondentes na proteína padrão.

O aminoácido limitante, isto é, aquele que apresentar maior déficit, determinará a qualidade da proteína teste.

A relação matemática que expressa a quantidade de um aminoácido na proteína teste e a quantidade desse mesmo aminoácido na proteína padrão é chamada de *Score Químico* (SQ) do aminoácido, dada pela seguinte equação:

$$SQ \% = \frac{\text{mg do aminoácido presente em 1 g da proteína teste}}{\text{mg do aminoácido presente em 1 g da proteína padrão}} \times 100$$

A análise quantitativa dos aminoácidos das proteínas é feita em um analisador automático de aminoácidos, onde se injeta o produto de uma hidrólise ácida da proteína que se quer avaliar. Essa hidrólise é realizada *in vitro* (isolado de organismo vivo e assim mantido artificialmente) com cerca de 25 mg da proteína hidrolisada, e ácido clorídrico 6N, por 22h, a 115-120°C, em ausência de oxigênio.

A grande falha desse método é que considera que todos os aminoácidos liberados pela hidrólise ácida estarão disponíveis ao

organismo, embora saibamos que isso não é verdade, pois a digestão feita pelo organismo animal é diferente da hidrólise ácida realizada *in vitro*. Outra falha é que ele só leva em conta o aminoácido que se encontra em menor concentração, e não necessariamente será a concentração de um aminoácido essencial.

Exemplo:

Determinar o nível seguro de ingestão protéica para um indivíduo de 18 anos, masculino (Tabela 6.4).

Tabela 6.4						
Níveis Seguros de Proteína por Dia						
Grupo Etário	Gênero /idade (anos)	g protétina /kg/dia	g proteína /pessoa/dia	SQ (%)		
				80	70	60
Adolescente	Masculino	13 – 15	0,72	37	46	53
		16 – 19	0,60	38	47	54
	Feminino	13 – 15	0,63	31	39	45
		16 – 19	0,55	30	37	43
Adulto	Masculino	0,57	37	46	53	62
	Feminino	0,52	29	36	41	48

$$\begin{aligned}\text{Nível seguro de ingestão} &= (100/\text{SQ}) \times \text{g proteína/pessoa/dia} \\ &= (100/80) \times 38 = 47 \text{ g proteína/dia.}\end{aligned}$$

É essencial que os aminoácidos das proteínas estejam biodisponíveis para atender às necessidades de nitrogênio do organismo (Tabela 6.5). Então, a biodisponibilidade dos aminoácidos é dada pela fração total de aminoácidos ingeridos que é absorvida em forma metabolicamente ativa e que será utilizada pelo organismo.

Tabela 6.5 Necessidades Estimadas em Aminoácidos para um Homem Adulto e uma Criança, mg/kg de Peso/dia			
<i>Aminoácido</i>	<i>Homem Adulto</i>	<i>Criança (4-6 anos)</i>	<i>Criança (10-12 anos)</i>
HIS	—	33	—
ISO	12	83	28
LEU	16	135	42
LIS	12	99	44
MET	10	49	22
FEN	16	141	22
TRE	8	68	28
TRI	3	21	4
VAL	14	92	25

Protein Digestibility – Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)

É um método adotado pela FAO para medir o valor proteína na nutrição humana (Tabela 6.6). Compara a concentração do primeiro aminoácido essencial limitante da proteína teste com a concentração desse aminoácido na proteína padrão de referência.

Tabela 6.6 Valores de PER, Digestibilidade, Score Químico, PDCAAS não Truncado para Algumas Proteínas				
<i>Proteína</i>	<i>PER</i>	<i>D(%)</i>	<i>SQ%</i>	<i>PDCAAS</i>
Ovo	3,8	98	121	118
Leite de vaca	3,1	95	127	121
Bife	2,9	98	94	92
Soja	2,1	95	96	91
Trigo	1,5	91	47	42

Fonte: FAO/WHO Expert Consultation 1990, European Dairy Association 1997, and Renner 1983.

$$\text{PDCAAS} = \frac{\text{mg aminoácido proteína teste}}{\text{mg aminoácido proteína padrão}} \times D^*$$

*D = digestibilidade

O valor obtido corresponde à digestibilidade fecal real da proteína teste. Valores de PDCAAS maiores que 100% são truncados. Ainda há muitas críticas na comunidade científica para se adotar esse método. As questões mais relevantes em relação ao PDCAAS para correção do *score* químico são:

- Validade das necessidades de aminoácidos essenciais para crianças.
- Validade para correção por digestibilidade fecal ao invés de ileal: a digestibilidade fecal contém proteínas e aminoácidos perdidos de síntese protéica e que foram excretados na urina como amônia. Também fatores antinutricionais contribuem para diminuir o valor nutricional da proteína.
- Truncagem dos valores maiores que 100%: desconsidera fontes protéicas da dieta mista.

Os aminoácidos essenciais encontrados como limitantes na maioria dos alimentos são: lisinas, metioninas e tripofano.

Analizando a (Tabela 6.7) pode-se concluir que:

1. O aminoácido limitante dos cereais é a lisina.
2. O aminoácido limitante das leguminosas é a metionina.

Tabela 6.7 Score Químico (SQ) e Valor Biológico (VB) de Alguns Alimentos Utilizando a Proteína do Ovo como Padrão:				
Alimento		SQ (%)	VB (%)	Amininoácido Limitante
Cereais	Cevada	53	—	metionina/lisina
	Milho	38	59	lisina
	Farinha de aveia	53	65	metionina
Cereais	Arroz polido	54	64	lisina
	Sorgo	29	73	lisina
	Trigo	44	65	lisina
	Farinha de trigo	34	52	lisina
Leguminosas	Feijão	32	59	metionina
	Lentilha	23	45	metionina
	Soja	41	73	metionina
Carnes	Vaca	73	74	valina
	Peixe	51	76	isoleucina

3. O SQ da proteína dos cereais é maior do que das leguminosas e, portanto, proteína de melhor qualidade (exceção é a soja). A mistura de cereais e leguminosas melhora o aproveitamento de ambos.
4. O SQ da proteína do trigo é maior que o da farinha de trigo. Portanto, o trigo contém proteína de melhor qualidade que sua farinha, pois é perdida durante a extração.
5. O SQ da proteína animal é alto, indicando melhor valor nutricional.
6. O VB dos cereais é maior que o das leguminosas. Isso indica melhor proteína.
7. O VB do trigo é maior que o da sua farinha. Então no trigo há proteína de melhor qualidade.
8. Os valores do SQ e do valor biológico são diferentes, porém quando um é alto, o outro também o é. Logo, os dois podem ser utilizados para avaliar a qualidade de uma proteína.
9. Vantagem do SQ sobre o VB: o SQ diz o que está limitando a qualidade nutricional da proteína, isto é, determina o aminoácido limitante.
10. Vantagem do VB sobre o SQ: se houver fatores tóxicos ou antinutricionais, o VB indica com um valor baixo, mas o SQ não.

Exercícios:

1. Determinar o SQ% das proteínas abaixo, utilizando a proteína da FAO como padrão (Tabela 6.8).

Tabela 6.8 Composição de Aminoácido por 1 g de Proteína (mg/g)						
Aminoácido Essencial	Soja mg/g	SQ(%)	Arroz mg/g	SQ(%)	Lentilha mg/g	SQ(%)
Isoleucina	51	128	44		63	
Leucina	77	110	86,4		109	
Lisina	68	124	38		80	
Metionina	15	43	22,4		7	
Fenilalanina	50	83	50,9		63	
Treonina	43	107	34,8		45	
Triptofano	13	130	12		12	
Valina	54	108	60,7		54	
Histidina	—	—	24,5		—	

Observando a (Tabela 6.8) pode-se dizer que para o caso da proteína da soja, o primeiro aminoácido limitante é a metionina com 43%, por se encontrar em menor porcentagem. O segundo aminoácido limitante é a fenilalanina com 83%.

2. Um indivíduo ingeriu no café da manhã quatro fatias de pão (100 g) e dois copos de leite (480 mL). O pão fornece 8,5 g de proteína/100 g de pão e o leite, 16,8 g de proteína/100 g de leite. Compare os aminoácidos fornecidos pelo pão e pelo leite ingeridos com a necessidade mínima de aminoácido de um adulto. Determine o *score* químico dessa mistura, utilizando a proteína do ovo como padrão, (Tabela 6.9).

Tabela 6.9				
Composição de Aminoácidos Presentes em 100g de Pão e 480 mL de Leite				
Aminoácido Essencial	Quantidade (g)			
	Pão	Leite	Necessidade Mínima	SQ(%)
TRI	0,091	0,235	0,25	
TRE	0,282	0,773	0,5	
ISO	0,429	1,07	0,7	
LEU	0,668	1,651	1,1	
LIS	0,225	1,306	0,8	
MET	0,342	0,562	1,1	
FEN	0,708	1,67	1,1	
VAL	0,435	1,152	0,8	

3. Calcular o SQ% da mistura arroz e feijão nas proporções 1:1 e 2:1, utilizando a proteína do leite de vaca como padrão.
4. Quantos gramas de arroz e quantos de feijão são necessários para se ter uma mistura de proteína 2:1 (arroz:feijão)?

Métodos Biológicos de Avaliação da Qualidade Protéica

Esses métodos empregam geralmente animais como cobaias, porquinhos da Índia ou franginhos para sua realização. O valor nutricional da proteína pode ser medido em função de dois fatores:

Tabela 6.10 Composição de Aminoácidos do Arroz e Feijão				
Aminoácido	Proteína de arroz		Proteína do feijão	
	mg/g	SQ(%)	mg/g	SQ(%)
ISO	44,0		41,9	
LEU	86,4		76,2	
LIS	38,0		72,0	
MET	22,4		10,6	
FEN	50,9		52,1	
TRE	34,8		39,7	
VAL	60,7		45,9	
ARG	79,5		56,8	
HIS	24,5		28,3	
TRI	12,0		10,0	

- Crescimento de animal;
- Retenção da proteína no organismo do animal.

I. Método baseado no crescimento do animal:

O mais comum é o PER = coeficiente de eficiência protéica (*protein efficiency ratio*). É o método mais simples de avaliação da qualidade nutricional de uma proteína, definido como a relação entre o peso do ganho de um animal em crescimento por unidade de proteína ingerida.

$$\text{PER} = \frac{\text{ganho de peso}}{\text{quantidade de proteína ingerida}}$$

Para se obter o PER, submetem-se filhotes de cobaia a uma determinada dieta balanceada contendo 10% de proteína teste durante quatro semanas. Ao final desse período, é retirada a relação peso-ganho dividido por proteína ingerida. O alto valor do PER encontrado é atribuído ao alto valor nutricional da proteína, isto é, ela é necessária para o crescimento do animal.

Esse valor deve ser comparado ao PER da caseína, proteína do leite, cujo teste deve ser feito simultâneo ao da proteína que se está avaliando.

A principal fonte de erro desse método é que se assume que todo ganho de peso do animal é devido ao ganho de peso corporal da cobaia. Isso nem sempre acontece, pois o animal pode ter retido água, por exemplo.

II. Métodos baseados na determinação de nitrogênio:

Esse método determina a retenção de nutriente no organismo, ou seja, proteína, medido pela quantidade de nitrogênio retido no organismo.

A partir do esquema da Fig. 6.16, as seguintes relações podem ser estabelecidas:

- NTF (nitrogênio total fecal) = NF + NFE
- NTU (nitrogênio total urinário) = NU + NUE

O nitrogênio ingerido (NI) provém das proteínas que ingerimos na dieta. Parte das proteínas ingeridas é totalmente digerido, sendo, então, seu nitrogênio absorvido (NA). As proteínas não digeridas são eliminadas nas fezes (NF).

Do nitrogênio absorvido, parte é aproveitada pelo organismo para a síntese de suas proteínas (NR). Portanto, esse nitrogênio é retido para a síntese de proteínas que se destinam ao crescimento do indivíduo (criança até adolescência), para manutenção de tecidos e processos metabólicos ou para reprodução. O não retido é eliminado na urina (NU). Essas são as proteínas que não têm função construtora para o organismo, ou seja, têm função energética.

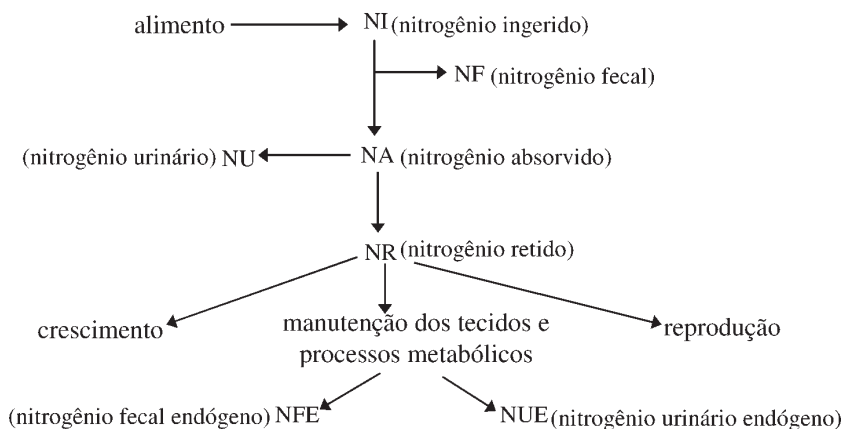


Fig. 6.16 – Esquema do metabolismo de absorção e excreção de nitrogênio protéico.

As paredes do intestino sofrem descamações constantemente. As células mortas, protéicas, são excretadas nas fezes, constituindo o nitrogênio endógeno, isto é, nitrogênio fecal endógeno (NFE). Por outro lado, na urina será eliminado o nitrogênio urinário endógeno (NUE) proveniente da degradação das proteínas das várias reações metabólicas de produção de energia.

Uma cobaia em jejum também elimina nitrogênio, embora não o esteja ingerindo. Esse nitrogênio é de origem endógena proveniente dos tecidos em decomposição ou, ainda, é o nitrogênio da cadeia carbônica do aminoácido quando houve utilização de proteína para produção de energia.

O nitrogênio total recolhido nas fezes é dado pela soma de NF e NFE. O nitrogênio total coletado na urina é dado pela soma de NU e NUE.

a) Balanço metabólico:

Os métodos de avaliação da qualidade protéica baseados na retenção de nitrogênio são chamados de *balanço metabólico*. O produto de excreção é o nitrogênio total presente na urina e nas fezes, isto é, substâncias eliminadas pelos rins, tubo intestinal, pele e pulmões.

$$\text{BM (balanço metabólico)} = \text{ingestão de nutrientes}$$

$$- \text{produtos de excreção.}$$

O balanço metabólico indica se houve perda ou retenção de nitrogênio pelo organismo. No indivíduo adulto normal, as quantidades ingeridas devem ser iguais às excretadas.

Quando as quantidades excretadas forem maiores que as ingeridas, diz-se que o indivíduo se encontra em balanço negativo, indicando má alimentação ou doença, isto é, a proteína ingerida não foi suficiente para satisfazer as necessidades do organismo. Esse indivíduo está usando proteína de natureza endógena para sua manutenção corporal.

Quando positivo, indica crescimento ou incorporação do nitrogênio pelo organismo. Um animal está em balanço positivo quando a quantidade ingerida for maior que a excretada, havendo, portanto, retenção de nutriente pelo organismo. Isso é o que ocorre nas fases de crescimento e reprodução dos animais.

b) Método do valor biológico (VB):

O método consiste na porcentagem de nitrogênio retido pelo organismo com relação ao nitrogênio absorvido.

$$VB = \frac{NR}{NA} \times 100$$

São utilizados dois grupos de cobaias de pesos, raças e idades iguais. O grupo 1 é mantido com uma dieta completamente isenta de proteína (0 g de proteína). O nitrogênio excretado por esse grupo será: NFE + NUE.

$$NFT = NF_1 \text{ e } NUT = NU_1.$$

O grupo 2 é mantido com a mesma dieta do grupo 1 acrescida de 10% de proteína. O nitrogênio excretado por esse grupo será: NFT = NF + NFE e NUT = NU + NUE.

$$\begin{aligned} NF &= NF_2 - NF_1 \\ NU &= NU_2 - NU_1 \end{aligned}$$

O valor de VB será obtido pela substituição de NA e NR, pelo nitrogênio ingerido e excretado conhecidos e calculados:

$$\begin{aligned} NA &= NI - NF \\ NR &= NA - NU \end{aligned}$$

Portanto:

$$VB = \frac{NI - (NF_2 - NF_1) - (NU_2 - NU_1)}{NI - (NF_2 - NF_1)} \times 100$$

Dietas com valor biológico menor que 70% significam ingestão de alimentos com baixa qualidade protéica (Tabela 6.11).

Tabela 6.11
Valor Biológico de Alguns Alimentos

Alimento	VB (%)	Alimento	VB (%)
Carne de vaca	104	Suco de laranja	79
Leite de vaca	100	Levedo	71
Peixe	95	Espinafre	64
Arroz	88	Ervilha	56
Couve-flor	84	Farinha de trigo	40
Caranguejo	79	Farinha de milho	30
Batata	79		

Exemplo:

Para determinar o valor biológico da proteína X de um alimento foram utilizados dois grupos de cobaias. O grupo 1 ingeriu 0 g de proteína, enquanto que o grupo 2 ingeriu em média 4 g na dieta.

Os resultados obtidos foram:

Produto excretado (g)	grupo 1	grupo 2
NF	0,5	1,0
NU	3,0	4,0

Calculando:

$$VB = \frac{4,0 - (1,0 - 0,5) - (4,0 - 3,0)}{4,0 - (1,0 - 0,5)} \times 100 = 71,4\%$$

Podemos concluir que a dieta contém proteína de boa qualidade (VB >70%), indicando que a proteína presente está sendo aproveitada pelo organismo.

c) Índice de utilização protéica (NPU):

NPU significa *Net Protein Utilization*, isto é, proteína líquida corrigida. É um fator de correção que indica quanto de nitrogênio está sendo aproveitado pelo organismo. Através desse método pode-se determinar a proporção de nitrogênio do alimento retido pelo organismo animal.

Dois grupos de cobaias de peso, raça e idade iguais são utilizados para medir NPU. O grupo 1 é mantido com uma dieta completamente

isenta de proteínas (0 g). Ao grupo 2 é dada a mesma dieta experimental acrescida de 10% da proteína conhecida.

Os dois grupos são sacrificados após 10 dias de experimento e o nitrogênio da carcaça é determinado. O animal é seco, desengordurado e o nitrogênio pode ser determinado através de qualquer método de determinação de proteína.

$$\text{NPU} = \frac{N_2 - N_1}{\text{NI}} \times 100 = \frac{\text{NR}}{\text{NI}} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

N_2 = nitrogênio total da carcaça do grupo 2

N_1 = nitrogênio total da carcaça do grupo 1

É possível relacionar NPU com o valor biológico (VB) e a digestibilidade (D) da proteína (Tabela 6.12).

Tabela 6.12 Digestibilidade (%) dos Nutrientes de Alguns Alimentos			
<i>Alimento</i>	<i>Proteína</i>	<i>Lípido</i>	<i>Carboidrato</i>
Animais	97	95	98
Cereais	85	90	98
Legumes secos	78	90	97
Açúcares e amido	—	—	98
Vegetais	83	90	95
Frutas	85	90	90
Total	92	95	97

Assim se:

$$\text{VB} = \frac{\text{NR}}{\text{NA}} \Rightarrow \text{NR} = \text{VB} \times \text{NA} \quad (2)$$

$$\text{D} = \frac{\text{NA}}{\text{NI}} \times 100 \quad (3)$$

Substituindo as equações (2) e (3) em (1) obtém-se:

$$\text{NPU} = \text{VB} \times \text{D} \times 100$$

Para maior facilidade de cálculos e levando-se em consideração que a composição de uma dieta é mista, foram estabelecidos os seguintes valores de NPU para as várias classes de alimentos (Tabela 6.13).

Tabela 6.13			
SQ%, NPU e Digestibilidade (D) de Algumas Proteínas de Alimentos			
Alimento	SQ%	NPU	D%
Ovo inteiro	100	94	97
Leite humano	100	87	97
Leite de vaca	95	82	97
Carne	94		97
Soja	74	65	78
Gergelim	50	54	
Amendoim	65	47	94
Semente de algodão	81	59	90
Milho	49	52	76
Arroz	67	59	75
Painço	63	44	79
Trigo integral	53	48	79
Peixe			97
Feijão	74	65	60
Caseína		55	96

De modo prático, o NPU das diferentes classes de alimentos, usados para efeito de cálculo em elaboração de cardápios, são valores médios e podem ser empregados como mostrados na Tabela 6.14.

Tabela 6.14	
NPU Médio das Classes de Alimentos Vegetais	
Alimento	NPU
Carnes, ovos e derivados	0,7
Leguminosas	0,6
Cereais	0,5
Outros	0

d) NDPcal:

NDPcal significa *Net Dietary Protein Calories*, ou seja, conteúdo de proteína da dieta em calorias, isto é, gramas de proteína corrigida vezes 4 kcal/g proteína.

$$\text{NDPcal} = \frac{\text{NPU}}{100} \times \text{de proteína} \times 4 \text{ kcal/g de proteína}$$

e) NDPcal%:

Indica a energia metabolizável das proteínas em relação ao total de energia da dieta (VCT), expresso em porcentagem.

$$\text{NDPcal\%} = \frac{\text{NDPcal}}{\text{VCT}} \times 100$$

O valor de NDPcal% encontrado para uma dieta deve estar entre 6% e 14%. Valores menores que 6% indicam dieta pobre em qualidade protéica e, portanto, essa dieta é constituída de baixa concentração de aminoácidos não essenciais que não atendem as necessidades protéicas do organismo. Valores maiores que 14% ultrapassam as necessidades orgânicas de proteína de boa qualidade, e como não há reserva de proteína no organismo, esse excesso é eliminado.

Na Tabela 6.15 encontram-se os valores protéicos de alguns alimentos para ilustrar a variação protéica entre o grupo dos cereais e o das raízes, tubérculos e frutos.

Observe, por exemplo, que cevada e aveia apresentam NDPcal% maior que os outros alimentos, sugerindo melhor qualidade de suas proteínas, com valores dentro da faixa considerada proteína de boa qualidade (6 a 14).

Nenhum dos alimentos do grupo das raízes, tubérculos e frutos apresenta valores protéicos maior que o mínimo tolerável, isto é, 6. Isso indica que os aminoácidos essenciais que compõem a estrutura de suas proteínas possuem baixa biodisponibilidade, estão em baixa concentração ou proporção na cadeia.

Tabela 6.15 Valores de NPU e NDPcal% de Alguns Alimentos Vegetais				
Alimento		Proteína (kcal%)	NPU (%)	NDPcal%
Cereais	Cevada	14,0	60	8,4
	Milho	11,0	48	5,4
	Aveia	12,0	66	8,0
	Arroz	9,0	57	5,1
	Trigo	13,0	40	5,2
Raízes, tubérculos	Mandioca	2,0	50	1,0
	Cará	0,6	50	0,3
	Sagu	1,8	60	4,4
	Inhame	2,4	43	0,6
	Batata	2,0	67	1,3
Leguminosas	Ervilhas	24,0	50	12,0
	Grão de bico	20,0	40	8,0
	Feijão	20,0	47	9,4

Fibras Alimentares

O interesse pela fibra, fração inaproveitável do alimento, surgiu de observações clínicas que ligaram a ocorrência de certas moléstias ao tipo de dieta pobre em fibra, natural de produtos vegetais.

Nos países africanos e em coletividades de países em desenvolvimento, são raras as moléstias tidas como comuns em sociedades desenvolvidas. Existe uma relação destas moléstias tidas como típicas de coletividades desenvolvidas: hipertensão, perturbações cérebro-vasculares, obesidade, hemorróidas, colite ulcerativa, diverticulites, câncer do intestino grosso, além de síndromes isquêmicas miocárdicas, colesterolemia e artrite reumatóide.

Ao longo dos últimos dois séculos, houve uma acentuada diminuição do consumo de fibras. Em 1770, consumia-se 6,23 g/dia por pessoa; em 1970, consumia-se 0,2 g/dia por pessoa. Essa diminuição no consumo de fibras deveu-se, em grande parte, à redução do consumo de farinha que, em 1770, era de 500 g/dia por pessoa e, em 1970, passou a 200 g/dia por pessoa. Estas farinhas, ao longo dos anos, foram se tornando empobrecidas no teor de fibras, devido aos beneficiamentos industriais. Nos Estados Unidos, o consumo de fibra caiu 28% entre 1909 e 1957, tendo ficado praticamente estável de 1958 até 1965. Os dados obtidos correlacionados às estatísticas de morbidade suportam a hipótese da relação inversa entre consumo de fibras e aparecimento de moléstias degenerativas.

A indústria de alimentos está respondendo aos desejos dos consumidores atuais, que buscam produtos que podem

ser usados para favorecer e melhorar sua saúde e vitalidade. A fibra dietética é um bom exemplo desta resposta e deixou de ser qualificada como “substâncias de difícil digestão” ou “substâncias pesadas e volumosas” para o *status* atual de “tópico de interesse máximo em alimentação e nutrição”. A partir da propaganda feita em torno dos alimentos, os consumidores estão descobrindo uma vez mais, embora hoje de maneira mais moderna, que a fibra dietética constitui um recurso importante para a manutenção da saúde e do bem-estar do ser humano.

Em meados de 1970, o interesse público pela questão da fibra dietética foi reascendido através das recomendações dadas pelo Comitê Americano de Seleção e Nutrição, que defendia, entre outras coisas, a inclusão de alimentos fibrosos nas dietas alimentares. Outras recomendações similares foram emitidas pelo Ministério Americano de Saúde e Serviços Humanos, bem como pelo Ministério da Agricultura, recomendações estas que incentivavam o aumento de consumo de carboidratos complexos e de fibras dietéticas. Estas recomendações são consistentes com as opiniões de muitos profissionais de saúde.

Para avaliar o papel das fibras em nutrição e para entender as evidências de correlação entre a ingestão de fibra dietética e o desenvolvimento de doenças do trato gastrointestinal, torna-se necessário rever as propriedades físicas e químicas dos diversos compostos considerados como fibra, métodos de determinação de conteúdo de fibras, efeitos fisiológicos associados à prevenção dessas doenças, como formulamos os produtos que contêm fibras, como tais produtos são vendidos e fiscalizados e como integramos esses conceitos em uma estratégia de mercado eficiente.

Definição

Define-se como fibra dietética a todos os polissacarídeos e lignina não digeríveis pelas secreções digestivas humanas. São, portanto, resíduos que chegam ao cólon sem terem sofrido modificações estruturais, onde são fermentados pelas bactérias da flora intestinal, produzindo ácidos graxos, gás e energia.

Considera-se fibra da dieta a celulose lignina, hemicelulose, pectinas, gomas, mucilagens e ceras. Pequenos teores de proteínas, lipídeos e glicídeos, normalmente digeríveis, às vezes por circunstâncias várias não são digeridos e aumentam o valor da fibra da dieta. Portanto, a fibra é uma mistura de diversos componentes.

A simples citação dos integrantes da fração fibra mostra o desafio que ela representa para o analista que deseja ali discriminar e quantificar cada componente. Todavia, a necessidade de conhecer a fração fibra de cada componente é imperiosa, pois até hoje não se obteve resultados consistentes em numerosas pesquisas de caráter biológico e nutricional.

Apesar do progresso alcançado com os métodos analíticos para a mensuração da fibra, ainda estamos longe de desenvolver métodos confiáveis, baratos e rápidos para a análise de rotina dos alimentos. A Associação de Químicos Analíticos Oficiais (AOAC), no Estudo Colaborativo sobre a Análise da Fibra, salienta a extensão da variação analítica que ainda se encontra presente no sistema. A falta de métodos adequados, confiáveis e precisos para a análise dos alimentos representa um obstáculo para a nossa habilidade de suprir os dados faltantes com relação à composição dos alimentos. Esta falta de dados tem sido um dos fatores limitantes na determinação da quantidade, bem como, do tipo de fibra que as pessoas realmente estão consumindo, além da determinação do que as pessoas deveriam comer.

Composição Química da Fibra

A distribuição média das frações componentes da fibra de cereais, vegetais e frutas pode ser encontrada na Tabela 7.1.

Assim como a função dessas frações varia na planta, também varia a composição química de cada fração. Na Tabela 7.2 é possível observar os componentes químicos encontrados nos vários tipos de fibras.

Na Fig. 7.1 encontram-se as estruturas dos principais polissacarídeos componentes das fibras.

A celulose é um polímero linear, formado por unidades de glicose dispostas paralelamente, mantidas juntas através de li-

Tabela 7.1 Composição Percentual de Fibras da Dieta Dada Pelos Cereais, Vegetais e Frutas in natura			
Fonte de fibras	Polissacarídeos não celulósicos	Celulose	Lignina
Cereais	75,7	17,4	6,7
Vegetais	65,6	31,5	2,98
Frutas	62,9	19,7	17,4

Tabela 7.2			
Classificação dos Componentes Químicos das Fibras Dietéticas			
Fibras		Cadeia Principal	Cadeia Secundária
Polissacarídeos	Celulose	Glicose	
	Não-celulose		
	Hemicelulose	Xilose Manose Galactose Glicose	Arabinose
	Substâncias pécicas	Ácido galacturônico	Rafinose Arabinose Xilose Frutose
	Mucilagens	Galactose-manose Glicose-manose Arabinose-xilose Ácido galacturônico Rafinose	Galactose
Polissacarídeos	Gomas	Galactose Ácido galacturônico Manose Ácido galacturônico Rafinose	Xilose Fucose Galactose
	de algas	Manose Xilose Ácido galacturônico Glicose	Galactose
Lignina		Álcool sinafil Álcool coniferil Álcool p-coumaril	Estrutura tridimensional

gações de hidrogênio, o que torna o composto inerte do ponto de vista químico. É o principal componente estrutural das células das plantas e é considerada relativamente solúvel. Cada grama pode reter 400 mg de água.

A pectina é composta principalmente de ácido D-galacturônico, embora possa ter outros carboidratos ligados. A metilação parcial dos grupos hidróxidos do ácido confere importantes propriedades à pectina. Ela é considerada altamente solúvel e encontrada como parte da parede celular e como cimento intercelular. Pode formar gel no intestino e reter água.

A hemicelulose é um composto heterogêneo que contém açúcares na cadeia principal e secundária. É solúvel em álcali diluído

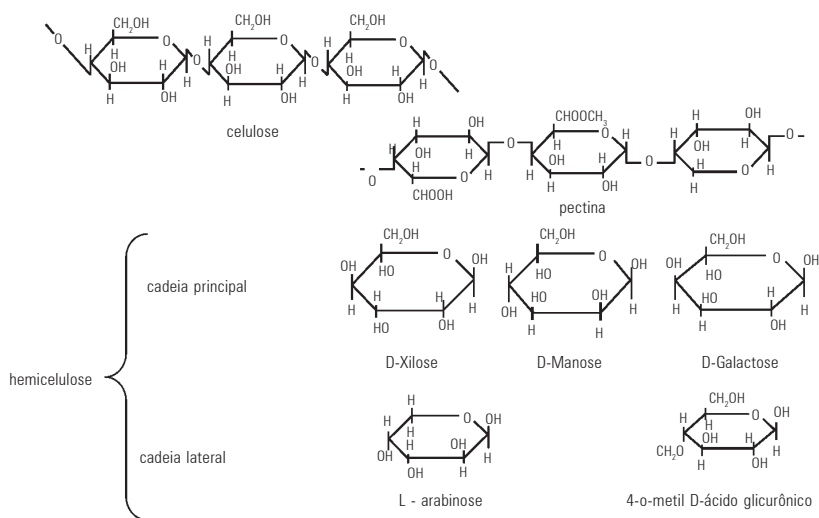


Fig. 7.1 – Estruturas dos principais polissacarídeos das fibras.

e mostra uma grande faixa de solubilidade, sendo esta associada com o maior ou menor grau de ramificação da cadeia.

A lignina purificada possui uma estrutura tridimensional complexa, considerada inerte, insolúvel e resistente a digestão. Pode ser definida como um polímero polifenólico contendo unidades estruturais fenilpropano. A lignina reveste a celulose e a hemicelulose e pode inibir os desdobramentos de carboidratos da parede celular, de modo que alimentos mais liquificados sejam menos digeridos no intestino. A lignina pode ligar-se a sais biliares e a outros materiais orgânicos e diminuir a absorção de nutrientes no intestino delgado.

As gomas e as mucilagens, complexos de polissacarídeos não estruturais, podem formar gel no intestino delgado e ligar-se a ácidos biliares e a outros materiais orgânicos.

Propriedades Físicas

As propriedades físicas das várias fontes de fibras são únicas e importantes na determinação de certas respostas fisiológicas. Na Tabela 7.3 vemos um resumo dessas propriedades e das respostas fisiológicas associadas a cada fração das fibras.

Tabela 7.3 Respostas Fisiológicas Afetadas pelas Propriedades Físicas das Frações de Fibras		
Propriedades Físicas	Frações de Fibras	Respostas Fisiológicas
Degradação bacteriana	Polissacarídeos	Produção de ácidos graxos de cadeia curta, flatulência e acidez
Capacidade de retenção de água	Polissacarídeos com grupos polares	Efeitos na absorção de nutrientes, peso fecal, trânsito intestinal no estômago e intestino delgado
Adsorção de material orgânico	Lignina, Pectina	Ligação e excreção de ácidos biliares
Troca catiônica	Ácidos	Aumento da excreção polissacarídeos de minerais

Degradação Bacteriana

A fibra não pode ser degradada enzimaticamente no intestino delgado dos mamíferos. Contudo, é fermentável e degradada no intestino grosso. O grau de degradação varia entre os polissacarídeos: as pectinas, as mucilagens e as gomas parecem ser completamente degradáveis, enquanto que a celulose sofre degradação apenas parcial.

O grau de degradação bacteriana tem várias implicações importantes: os subprodutos de ácidos graxos de cadeia curta podem influenciar a resposta fisiológica às fibras; a fermentação pode reduzir o pH do intestino grosso e afetar o metabolismo microbiano; e as células bacterianas podem ser partes significantes e contribuir para o peso do bolo fecal.

Capacidade de Retenção de Água (WHC)

Essa propriedade é enfatizada nos polissacarídeos pela presença de resíduos de açúcares com grupos polares livres. As pectinas, mucilagens e hemiceluloses têm os maiores valores de WHC. A hidratação da fibra resulta na formação de uma matriz de gel que pode aumentar a viscosidade do conteúdo do intestino delgado e ter efeitos críticos na absorção de nutrientes. Presume-se que a difusão dos nutrientes por absorção será reduzida pela participação

dos nutrientes hidrossolúveis na matriz de gel e pelo aumento da viscosidade do conteúdo intestinal. Embora a capacidade de retenção de água tenha também sido associada ao aumento do bolo fecal, esta não é uma relação direta devido à degradação bacteriana da fibra no cólon.

Vegetais como a alface, a cenoura, o aipo, o pepino e a berinjela apresentaram maior poder de absorver água e trocar íons. Já o milho, a aveia, a batata, a banana e o farelo de trigo, têm menos poder.

Adsorção de Moléculas Orgânicas

A adsorção de moléculas orgânicas, incluindo ácidos biliares, colesterol e compostos tóxicos é outra propriedade de interesse. Alguns estudos mostram que a lignina e a pectina são potentes adsorventes de ácidos biliares. A celulose, porém, tem pouco poder adsorvente. A habilidade de certos polissacarídeos, como a pectina, de aumentar a excreção de ácidos biliares nas fezes tem sido relacionada com uma diminuição do colesterol no plasma. Outros estudos sugerem que a habilidade de ligar compostos tóxicos seria um mecanismo protetor do câncer gastrointestinal.

Troca Catiônica

A reduzida disponibilidade de minerais e a absorção eletrolítica associada a dietas ricas em fibra se devem à ligação desses minerais e eletrólitos às fontes de fibras, levando a um aumento da excreção fecal dos mesmos. O número de grupos carboxila livre dos resíduos de açúcar e o conteúdo de ácido urônico dos polissacarídeos estão relacionados com essa propriedade de troca de cátions das fibras.

Vegetais como alface, couve, cenoura, laranja e nabo funcionam como resinas trocadoras de íons.

Efeitos Fisiológicos

Dependendo das fontes de fibras, estas podem provocar uma série de efeitos fisiológicos, como: aumento do bolo fecal, redução da disponibilidade de nutrientes, redução do nível de colesterol do plasma e das respostas glicêmicas às refeições.

Os resultados de vários estudos sobre o aumento do bolo fecal produzido por suplementação de fibra na dieta podem ser vistos na Tabela 7.4.

Tabela 7.4
Efeitos da Suplementação de Fibras no Bolo Fecal

Suplemento de Fibras	% de Aumento no Peso do Bolo Fecal
Farelo de aveia	15
Pectina	16-35
Goma guar	20
Maçã	40
Cenoura	59
Repolho	67
Celulose	75
Farelo de trigo (partículas)	80-127
Farelo de trigo (moído, fino)	24

Os fatores que contribuem para isso incluem a presença de resíduos de fibra não degradados e aumento da água fecal e da massa bacteriana resultante da fermentação da fibra. A fonte mais efetiva para um aumento do bolo fecal é o germe de trigo moído grosseiramente, responsável por 80-120% de aumento no bolo fecal. Seguem-se o repolho, a cenoura, a maçã e as gomas. Além do consumo da fibra, a forma física da mesma é um fator que influencia também a sua efetividade. O germe de trigo finamente moído, por exemplo, tem uma atividade reduzida na produção do bolo fecal. Além disso, a fonte de fibras também influencia a habilidade de produção do bolo: pectina e gomas, por exemplo, tendem a ser ineficientes, pois são completamente degradadas pelas bactérias.

As dietas pobres em fibras têm um tempo prolongado de permanência nos intestinos, o que provocaria, segundo vários autores, patologias do trato intestinal.

Correlacionando o tempo de trânsito dos alimentos pelo tubo digestivo com o teor de fibra ingerido, pode-se observar que um consumo elevado de fibra implica menor tempo de trânsito e maior volume de fezes, compostas de grande quantidade de produtos endógenos, ao lado da fração não digerível dos alimentos.

Estudos mostraram a existência de uma correlação logarítmica entre o peso das fezes e o tempo de trânsito intestinal, que parece representar papel biológico. Assim, um aumento de peso das fezes, de 20-30 g por dia para 150-200 g no mesmo período, reduz em cerca de três vezes o tempo de trânsito intestinal. O aumento de peso acima de 200 g, embora encurte o tempo de trânsito,

não o faz de forma significativa. O ideal seria um trânsito rápido e regular do bolo intestinal, culminando numa fácil evacuação.

Os polissacarídeos não celulósicos que são viscosos parecem ser os mais eficientes na redução do colesterol do plasma, conforme demonstrado em indivíduos lipidêmicos e observado nos dados da Tabela 7.5. Certos alimentos formulados com gomas foram testados e provaram ser efetivos no tratamento de hipercolesterolemia.

A resposta glicêmica pósprandial é reduzida mais efetivamente com polissacarídeos viscosos. Vários estudos sugerem que a viscosidade, ou seja, a habilidade de formar gel, é um fator importante na medição das respostas fisiológicas à ingestão de fibras. Além dessas respostas fisiológicas específicas, as propriedades físicas

Tabela 7.5 Efeitos das Fibras nos Níveis de Colesterol do Plasma		
Fontes de fibras	Quantidade de fibras ingerida (g/dia)	Mudança nos níveis de colesterol (%)
Celulose	16	0
Farelo de trigo	17	+ 1
Aveia integral	15	-11
Farelo de aveia	27	-17
Pectina	25	-13
Goma guar	24	-16
Feijão	30	-19

e a indigestibilidade das fibras são fatores-chave no metabolismo de dietas ricas nesses componentes.

Pode-se dizer que a fibra regula e diminui a taxa de digestão e de absorção por pelo menos três mecanismos:

- O grau de plenitude e esvaziamento gástrico pode ser reduzido por certas fibras.
- A atividade de enzimas digestivas no intestino delgado pode ser reduzida pela presença de fibras.
- A difusão e a absorção de nutrientes, enzimas e substratos no trato intestinal podem ser alteradas por certas fibras.

Através destes mecanismos e da fermentação da fibra no intestino grosso, esta pode afetar o processo metabólico.

O grau de plenitude gástrica é dado pela taxa de ingestão de alimento. Acredita-se que a distensão do estômago seja um dos sinais para a parada da ingestão de alimentos e por isso alguns autores especulam que as fibras induzem no indivíduo uma sensação de saciedade e reduzem, conseqüentemente, a ingestão de alimentos. Esses resultados precisam, porém, ser reavaliados para se verificar o grau de adaptação e compensação dos seres humanos ao efeito da distensão das fibras no estômago.

O grau de esvaziamento gástrico controla a taxa de absorção de alimentos no intestino delgado. Estudos mostram que a pectina, que aumenta a viscosidade do bolo alimentar, atrasa o esvaziamento. Já a celulose, não o afeta. Como os polissacarídeos viscosos diminuem a taxa de esvaziamento estomacal, eles podem ser úteis no tratamento de diabetes, por reduzir a taxa de absorção de carboidratos no intestino delgado.

A fibra no intestino delgado pode também afetar o processo metabólico pela interação e alteração dos mecanismos digestivos e de absorção. A difusão de enzimas e substratos dentro do conteúdo intestinal inicia a hidrólise das macromoléculas da dieta. No lúmen do intestino delgado, a hidrólise envolve a hidratação do alimento, a emulsificação de lipídeos e a disponibilidade de enzimas hidrolíticas. Os nutrientes produzidos por hidrólise se difundem para a superfície celular para serem absorvidos. Na absorção, os compostos lipossolúveis são transportados pela via linfática para utilização do organismo. Os compostos hidrossolúveis são transportados pelo sangue. Algumas fibras podem atuar na fase digestiva para reduzir a hidrólise e a difusão e, na fase de absorção, para alterar a superfície celular e o mecanismo de transporte.

Teor de Fibra nos Alimentos e Aplicações Tecnológicas

As tabelas de teor de fibra em alimentos podem expressar o teor de fibra crua ou dietética. A fibra crua tem sido usada até agora para designar o resíduo não digerível nos alimentos, mas essa fibra apresenta somente uma porção da celulose e lignina presente nos alimentos. Tem-se usado o termo fibra dietética, que inclui a soma dos carboidratos não digeríveis e dos componentes similares, como a celulose, a lignina, a hemicelulose, as pentosanas, as gomas e as pectinas. Não existe, porém, uma correlação entre teor de fibra crua e dietética. O teor de fibra

dietética pode ser tanto 1,6 vez maior, como 15,7 vezes maior que o teor de fibra crua, como nos morangos e nos flocos de milho, respectivamente.

Tabela 7.6 Valores de Fibra Crua e Dietética para os Ingredientes Mais Utilizados em Enriquecimento de Alimentos		
Ingredientes	Fibra Crua (g/100g)	Fibra Dietética (g/100g)
Farinha de trigo integral	2,3	11
Farinha de centeio (escura)	2,4	—
Farinha de arroz	1,5	—
Farelo de trigo	7,5 -12,0	—
Farelo de milho	12,5 -13,0	—
Farelo de milho refinado	17,0 -18,0	88 -92
Farelo de soja	38	76
Fibra de ervilha	36,5	45
Farelo de arroz	6,0 -8,0	—
Celulose purificada (de celulose)	70,0 -90,0	—

Fonte: Vetter, 1984; Toma & Curtis, 1986.

Vários ingredientes ricos em fibras estão à disposição dos engenheiros de alimentos para serem utilizados no desenvolvimento de novas fórmulas de alimentos ou no enriquecimento de alimentos já formulados (Tabela 7.6).

Os princípios de enriquecimento usados para pães e cereais matinais normalmente podem ser aplicados a vários outros produtos, com talvez apenas uma mudança na seleção dos ingredientes. Esse enriquecimento pode ser classificado como pequeno, moderado e alto, dependendo dos ingredientes utilizados.

No pequeno enriquecimento de pães, usa-se normalmente uma mistura de farinha de trigo integral e farinha branca em proporções na faixa de 40/60 até 60/40 dessas respectivas farinhas. A farinha branca melhora o volume e diminui o gosto característico da farinha integral.

Um enriquecimento moderado pode ser conseguido pela utilização de farinha integral ou pela adição de um ingrediente diferente, de alto teor de fibra. Usando 5% de fibra de ervilhas e 36,5% de fibra crua (com base nas farinhas), consegue-se elevar

o conteúdo de fibra do pão de 0,9 para 1,9 g/100 g. Este é um teor um pouco maior que o conseguido com o uso da farinha integral (1,6 g/100 g) e obtêm-se um pão mais similar ao de farinha branca em termos de volume, textura, cor e sabor.

O alto enriquecimento normalmente dá um aumento de 300 a 400% em relação ao teor de fibra do pão comum ou integral. O ingrediente que possibilita tal aumento é a celulose purificada, e tanto a formulação como o processamento do produto devem ser modificados para chegarmos a um produto aceitável, pois o alto teor de celulose interfere no desenvolvimento da massa, e este efeito tem que ser compensado com a adição de glúten.

Os cereais matinais podem ser enriquecidos do mesmo modo e seguir a mesma classificação: pouco enriquecidos (2 a 3 g de fibra dietética/porção servida) e altamente enriquecidos (7 a 9 g de fibra dietética/porção servida). O ingrediente mais utilizado neste enriquecimento é o farelo de trigo.

Estudou-se a composição de fibra dietética em algumas leguminosas e frutas tropicais (Tabela 7.7); as amostras analisadas foram: abacaxi, carambola, sapoti, mamão, manga, laranja, batata-doce e inhame. Os índices de celulose, hemicelulose, lignina, cutina (a substância serosa que, junto com a celulose, forma a epiderme dos vegetais), cinzas, o detergente residual neutro (NDR) e as frações enzimáticas insolúveis e solúveis foram obtidos. O resíduo de detergente neutro obtido foi de 0,9-1,2%. O valor para a celulose foi de 0,1-0,9%, com exceção do sapoti (2,4%) e casca de batata-

Tabela 7.7 Conteúdo de Fibra Dietética de Algumas Frutas e Vegetais Tropicais <i>in natura</i> e Industrializados				
	Alimento	Celulose	Hemicelulose	Lignina
Frutas	Abacaxi	0,370	0,510	0,050
	Carambola	0,460	0,320	0,310
	Sapoti	2,400	0,720	0,630
	Mamão	0,103	2,280	0,086
	Manga	0,670	0,340	0,053
	Grapefruit	0,104	0,036	0,025
Vegetais	Batata-doce	0,760	0,600	0,370
	Inhame	0,202	0,068	0,056

Fonte: Toma & Curtis, 1986

-doce (1,4-1,9%). Para a lignina, obteve-se valor ao redor de 0,025 -0,17%; carambola 0,3%; sapoti 2,3% e a pele de batata-doce, 0,4%, foram exceções. Para a hemicelulose obteve-se valor em torno de 0,04 -0,4%; à exceção de abacaxi (0,5%), sapoti (0,6%) e a pele da batata-doce (0,9%). Os componentes fibrosos de valor nutricional são relativamente concentrados e considerados fontes potenciais de frações fibrosas concentradas com propriedades fisiológicas úteis. O sapoti, em particular, parece ser uma fonte abundante de lignina e celulose.

Em geral, algumas frutas e leguminosas tropicais contêm quantidades significantes de certos componentes fibrosos; por exemplo, a lignina relativamente alta em carambola, no sapoti e na pele da batata-doce; a hemicelulose alta em abacaxi, sapoti e na pele de batata-doce. Uma vez que esses componentes fibrosos podem ter propriedades fisiológicas úteis, algumas dessas frutas e leguminosas tropicais são fontes de fibra dietética.

Fibras Patogênicas

Estudos demonstraram que a diminuição de fibras na dieta predispõe a um número de doenças e alterações típicas das culturas ocidentais, incluindo a constipação, doenças diverticulares, câncer de cólon, moléstias cardíacas e, além disso, a fibra tem alto valor na prevenção da diabetes e da obesidade.

Constipação

A diminuição de fibras na dieta tem como consequência uma diminuição do bolo fecal representada por uma variação química e microbiana, endurecimento, diminuição do volume e da frequência da defecação, levando a um aumento do tempo de trânsito intestinal.

Certos microrganismos podem digerir frações da fibra, produzindo metabólitos e alterando o tempo de trânsito do bolo fecal, no sentido de diminuí-lo. A flora intestinal desempenha, portanto, papel importante na função colônica, sendo provável que essa mesma flora seja influenciada em sua qualidade e quantidade, pelo tipo de resíduos (fibra) dos alimentos ingeridos.

Câncer de Cólon

Diversos ensaios epidemiológicos têm sugerido um baixo risco da moléstia em populações onde o consumo de dietas com teores

de fibra é relativamente alto. A dieta com fibras é considerada um fator de prevenção do câncer de cólon.

Em pesquisa realizada em grupos populacionais com escassa incidência de câncer no cólon ou reto, observou-se o abundante consumo de alimentos de origem vegetal: feijões, milho, farinhas integrais e legumes variados.

Resumindo os estudos sobre as relações entre fibras e câncer do cólon, os resultados apontaram o seguinte como mecanismos prováveis da diminuição da incidência da moléstia:

- a) Redução da duração do tempo de trânsito e, conseqüentemente, da exposição a carcinogênicos.
- b) Redução da formação de potenciais carcinogênicos a partir dos ácidos biliares.
- c) Diluição dos carcinogênicos pelo aumento do volume das fezes, pela capacidade de fixar água, esteróis, gorduras, e os próprios ácidos biliares.
- d) Alteração da flora intestinal.

Diverticulite de Cólon

É a patologia mais comum do intestino grosso e está presente em mais de 1/3 dos indivíduos com mais de 40 anos e mais de 2/3 naqueles com idade superior a 80 anos. A origem da doença diverticular pode ser explicada pela segmentação do cólon, em conseqüência do esforço para eliminar o pequeno volume das fezes nos indivíduos acostumados a dietas pobres em fibras.

A escassez da fibra na dieta aponta para uma distribuição geográfica da diverticulite e das moléstias isquêmicas do coração, havendo certa correlação entre ambas as patologias. Estudos observaram que os vegetarianos são menos sujeitos à diverticulite que os não-vegetarianos.

Hemorróidas

O aparecimento freqüente de hemorróidas no mundo ocidental desenvolvido é relacionado, indiretamente, ao problema da escassez de fibra na dieta, parecendo decorrer da conjunção entre constipação e aumento da pressão intra-abdominal.

A fibra da alimentação afeta o funcionamento do intestino delgado, mas de forma discreta, aumentando os lipídeos fecais

sem causar significativa esteatorréia. Há afirmação de que frações fibra de diferentes origens podem ter diferentes efeitos.

Visto que a fração fibra pode compreender maior ou menor proporção de celulose, lignina e polissacarídeos não-celulósicos, é fácil perceber que ora predominarão as propriedades de um, ora de outro componente.

Em consequência, as propriedades presentes e, eventualmente, predominantes no conjunto, chamadas fibras, serão devidas ao componente predominante. Por exemplo, a lignina tem a propriedade de ligar-se *in vitro* a sais biliares que adsorve, enquanto os resíduos de ácidos urônicos (polissacarídeos não-celulósicos) não substituídos podem funcionar como intercambiadores de íons, fixando cátions bivalentes.

Colecistopatias

Vários estudos relacionam a fração fibra dos alimentos com variação do nível de colesterol no soro sangüíneo, verificando correlação nas incidências de moléstias cardíacas isquêmicas e hiperlipedemia. Esses estudos concluíram que os grupos que se alimentavam com vegetais ricos em fibras tinham teores mais baixos de colesterol sérico e menor ocorrência de isquemia cardíaca.

Diabetes

Epidemiologicamente, países como Japão e Índia, onde a dieta de fibra ingerida é alta, mostraram uma menor incidência de diabetes. Até recentemente, a tradicional dieta de fibras recomendada por médicos e nutricionistas contém 40% do total de calorias como carboidratos. Dieta com fibras inclui celulose, hemicelulose, mucilagem, pectina, goma e lignina, e estas fibras estão presentes em frutas, vegetais e em grupos de cereais.

A diabetes melito é uma moléstia que aflige um significativo porcentual de indivíduos no mundo civilizado. Vem sendo tida como exclusivamente resultante do distúrbio do metabolismo dos glicídeos em virtude de produção deficiente de insulina.

Uma refeição contendo goma ou pectina parece promover diminuição significativa na concentração de glicose do sangue e nos níveis de insulina sérica.

Várias matérias fibrosas, diferentes nas propriedades físicas e químicas, afetam a tolerância da glicose e mostram também

que a viscosidade tem um considerável efeito na absorção e no tempo de trânsito; a goma guar, que é a substância mais viscosa, tem diminuição mais efetiva na glicose e insulina pós-prandial. O aumento da viscosidade resulta numa maior barreira de difusão, provocando uma demora de absorção da glicose.

Obesidade

A adição de fibras na dieta pode afetar positivamente o metabolismo de glicose e lipídeos. Verificou-se que massas contendo farinha branca e goma guar reduziram a resposta à glicose e à insulina quando comparadas com massas contendo somente farinha branca.

Estudos recentes vinculam a eventual correlação à capacidade que os alimentos têm de promover sensação de saciedade. No caso de alimentos possuidores de escassa fração indigerível é baixa a capacidade saciar, isto é, de eliminar a sensação de fome.

A ingestão de teores equivalentes de glicídeos, sob forma de produto puro e de frações de vegetais integrais, ricos em amido ou fécula, atua no centro de fome diferentemente em ambos os casos, sendo mais estimulada na ausência de fibra. Por sua vez, a liberação de insulina pelo pâncreas parece manter alguma relação com a presença de eventual componente da fração fibra de alimento.

Vitaminas

Vitaminas são compostos muito pequenos e simples quando comparados a outras substâncias presentes no organismo, mas indispensáveis para o metabolismo das células. O que se necessita é apenas que a alimentação normal seja balanceada. As vitaminas intervêm em quase todos os processos, atuando de forma seletiva sobre determinados órgãos e funções.

Absorvidas no organismo, as vitaminas hidrossolúveis (C e complexo B) são mantidas no meio líquido do corpo e eliminadas principalmente através do suor e da urina. As lipossolúveis (A, D, E, K) ficam nos tecidos gordurosos e no fígado.

Vitaminas Lipossolúveis

Vitamina A

O retinol, conhecido como vitamina A, forma pigmentos na retina, mantém os tecidos e regula algumas glândulas. Está presente no ovo, no fígado, no leite, na manteiga, nas folhas verdes, nos talos e nos legumes amarelos e vermelhos, como a cenoura. A recomendação diária é de 600 a 700 μg para adultos.

Vários compostos nos alimentos, como retinol, retinil éster, retina e ácido retinido têm alguma atividade de vitamina A. Nos alimentos de origem vegetal, a vitamina A aparece na forma de seus precursores, que são os carotenóides α , β , γ carotenos.

O fígado é o órgão de reserva de vitamina A, normalmente na forma de retinil éster. A vitamina A vai para os demais tecidos através da circulação sanguínea na forma de retinol ligada a uma proteína de baixo peso molecular.

A carência dessa vitamina acarreta nictalopia ou cegueira noturna (diminuição da acuidade visual em ambientes pouco iluminados), hemeralopia (baixa reação ao ofuscamento), xeroftalmia (queratomalácia, ulceração da córnea e cegueira), pele seca e áspera, baixa resistência às infecções (queratinização dos epitélios, facilitando a penetração de agentes patogênicos), transtornos do crescimento, na reprodução e no desenvolvimento dos dentes.

A hipervitaminose A prolongada e grave resulta em fragilidade óssea, espessamento dos ossos longos, dor óssea profunda e incapacidade de andar. Os sintomas desaparecerão em alguns dias após a suspensão da vitamina.

Sinais de Intoxicação por Vitamina A

- Ingestão máxima diária de 600 a 3000 $\mu\text{g}/\text{dia}$ (UL=limite superior tolerável);
- Dor e fragilidade óssea;
- Hidrocefalia e vômitos (criança);
- Pele seca com fissuras;
- Unhas frágeis;
- Perda de cabelos (alopecia);
- Gengivite;
- Queilose (inflamação da boca e língua);
- Anorexia;
- Irritabilidade;
- Fadiga;
- Hepatomegalia e função hepática anormal;
- Ascite e hipertensão portal.

Vitamina D

Os raios ultravioletas provocam uma fotólise em uma substância (7-deidrocolesterol) presente na pele, gerando o calciferol ou vitamina D. Ela ajuda o organismo a assimilar cálcio e fosfato que, juntos, respondem pelo crescimento e regeneração dos os-

sos, prevenindo raquitismo, osteoporose (velhice), osteomalácea (idade adulta) e maior incidência de cárie dentária.

Suas melhores fontes são os peixes (lambari, piaba, arenque, atum, cação, óleo de fígado de bacalhau), leite, fígado, manteiga e gema de ovo.

Recomenda-se a ingestão diária de 5 μg /dia para crianças, gestantes e nutrízes. A adultos são recomendados 5 μg /dia, mas os saudáveis e ativos, que se expõem ao sol normalmente, não requerem vitamina D na dieta, pois a sintetizam.

O excesso dessa vitamina pode causar cefaléia, vômitos, diarreia, redução ponderal, cálculos renais, hipercalcemia (nos pulmões e membrana timpânica).

Vitamina E

Germe de trigo, óleos vegetais, gema de ovo, vegetais folhosos e legumes são as maiores fontes de vitamina E (ou tocoferol). Há evidências de que a vitamina E contida nesses alimentos contribui para a fertilidade. Por isso, é conhecida como a vitamina antiesterilidade, mas exerce também outras funções importantes no organismo, como a de proteger as demais substâncias contra a oxidação.

A vitamina E é armazenada no tecido adiposo e nas glândulas pituitária e adrenal. A deficiência dessa vitamina pode causar problemas de reprodução, distrofias musculares, problemas do sistema nervoso e anemia macrocítica. Admite-se que para adultos a necessidade de vitamina E deve ser de 15 mg/dia.

Grandes doses podem interferir na atividade da vitamina K, havendo efeito anticoagulante e prolongamento do tempo de coagulação sanguíneo. Doses acima de 400 UI provocam hipertensão, tromboflebite, embolismo pulmonar, fadiga, redução significativa do hormônio tireóideo e elevação dos níveis de triglicérides nas mulheres.

Vitamina K

Fígado, porco, alface, couve, espinafre, repolho e cereais (trigo e aveia) são as melhores fontes das vitaminas K₁ (filoquinona), K₂ (menaquinona) e K₃ (menadiona), um complexo essencial para a coagulação do sangue, favorecendo a síntese da pró-trombina.

Um pequeno estoque é mantido no fígado para emergências (como um sangramento), mas a que circula no organismo tem que ser reposta diariamente.

A absorção da vitamina K requer bile e suco pancreático. Após a absorção, ela é incorporada aos quilomicrons e lipoproteínas. Do trato intestinal é transportada para o fígado. Indivíduos com hiperlipidemia apresentam níveis elevados de vitamina K.

A ingestão recomendada para um adulto é de 70 a 90 μg por dia, quantidade que pode ser facilmente fornecida pela dieta. A deficiência de vitamina K é improvável, exceto em crianças recém-nascidas ou quando ocorre má absorção pelo trato intestinal ou incapacidade de utilizá-la no fígado. Doses excessivas de vitamina K podem produzir anemia hemolítica.

Vitaminas Hidrossolúveis

Vitamina C

É também conhecida como ácido ascórbico, ácido hexônico, ácido cevitâmico ou fator antiescorbútico. Ocorre na natureza, principalmente nos frutos e folhas. Entre os frutos, são particularmente ricas as frutas cítricas, como: limão, laranja, tangerina, pomelo, manga, goiaba, abacaxi, caju e tomate. Dos vegetais, as melhores fontes são: brócolis, couve, repolho, couve-flor, vagem, espinafre, nabo, mostarda, ervilha, pimentão e agrião.

A vitamina C exerce diversas funções no organismo. É conhecida por aumentar a resistência às infecções, como na prevenção de gripes e resfriados. Mas também previne o escorbuto, ajuda a absorver o ferro, cicatriza feridas, sustenta as fibras do colágeno, evitando rugas e, em parceria com o cálcio, fortalece os dentes, gengivas e os vasos sanguíneos capilares.

Essa vitamina não é estocada ou sintetizada pelo organismo. Pede reposição diária de 65 a 75 mg, o que corresponde a uma laranja. O alimento em que a vitamina está presente, se cortado, deve ser consumido imediatamente devido à sua instabilidade. Em situações de calor ou armazenamento inadequado, o contato com meio alcalino ou metais como, ferro e cobre, a vitamina C pode sofrer oxidação, com perda de suas características funcionais.

Doses exageradas de vitamina C (mais de 1 g/dia) podem causar diarreia e ter efeito diurético. O excesso da vitamina será eliminado via urina, tornando-a ácida. Isso provoca aumento na

concentração de oxalatos e uratos na urina, proporcionando o aparecimento de pedras nos rins.

A ação da vitamina C em altas doses exerce efeito benéfico sobre a resistência à fadiga muscular, pois há aumento da taxa de glicogênio, diminuindo a concentração de ácido láctico nos músculos. O esforço muscular diminui o teor de ácido ascórbico nos vários órgãos. A ingestão exagerada de vitamina C pode causar, em certas pessoas, aumento do metabolismo do cálcio e do fosfato, o que pode ajudar ou prejudicar na formação dos ossos.

Vitamina B₁

A tiamina ficou conhecida por evitar uma doença que ataca o sistema nervoso e o coração: o beribéri. Quase todos os alimentos contêm tiamina: carne, legumes, raízes, leite, pescado, gema de ovo, integrais e oleaginosas, como o amendoim. Os cereais beneficiados são desprovidos dessa vitamina, pois são reduzidos à fração amilácea do grão.

A deficiência de vitamina B₁ é de difícil diagnóstico, pois sua carência está associada a outras vitaminas: B₂, B₃, A e C e a algumas proteínas. A sua falta provoca atrofia muscular, paralisia parcial, cardiopatia e convulsões, podendo levar à morte. A quantidade recomendada situa-se entre 0,8 e 1,2 mg diárias. As necessidades de tiamina aumentam no crescimento, na gravidez e na lactação.

Vitamina B₂

A riboflavina participa do metabolismo de lipídeos, proteínas e carboidratos. Sua falta provoca a glossite (inflamação da língua), queilose (fissuras nos cantos da boca), estomatite, conjuntivite, dermatites, cegueira noturna, vascularização da córnea, ardor nos olhos, sensibilidade à luz, transtornos de crescimento e falta de vigor.

Sua principal função é atuar como componente de duas coenzimas do nucleotídeo flavina implicadas no metabolismo energético (FAD e FMN) para remover hidrogênios dos substratos alimentares. A vitamina B₂ está envolvida na ativação da vitamina B₆ e na conversão do ácido fólico a suas coenzimas.

A necessidade recomendada é de 1,0 a 1,3 mg por dia, conforme idade e sexo. Acréscimos são necessários no crescimento,

na gravidez e na lactação. São fontes alimentares de vitamina B₂: levedo, fígado, rim, leite, queijos, gema, vegetais folhosos, algumas frutas e as leguminosas.

Vitamina B₃

A niacina evita lesões da pele, fadiga, insônia, nervosismo, distúrbios digestivos, pelagra (pele áspera, conhecida como a doença dos 3 D: diarreia, dermatite e demência). Participa da obtenção de energia em todas as reações metabólicas, através das coenzimas NAD e NADP.

Além de sintetizada pelas bactérias do intestino, é fornecida através de carnes, peixe, amendoim, figo, tâmara e ameixa. A cota diária de niacina está relacionada com a quantidade de triptofano da dieta. No entanto, acredita-se que a necessidade diária gire em torno de 12 a 14 mg. O excesso de niacina pode provocar rubor, queimação e formigamento ao redor do pescoço, na face e nas mãos.

Ácido Pantotênico

O ácido pantotênico transforma gordura e açúcares em glicogênio, ajuda no desenvolvimento do sistema nervoso central, regula o funcionamento das glândulas supra-renais e está envolvido na síntese de colesterol e fosfolípidos. Evita doenças do sangue e da pele e úlceras do duodeno. Como parte da coenzima-A, apresenta diferentes papéis no metabolismo das células.

O ácido pantotênico está presente em todos os tecidos animais e vegetais. O ovo, os rins, o fígado, o salmão e as leveduras são as melhores fontes. A ingestão de 5 mg por dia de ácido pantotênico é provavelmente adequada para crianças e adultos. Não há risco de excesso dessa vitamina, mas a ingestão exagerada pode provocar diarreia.

Vitamina B₆

Os sintomas da falta de piridoxina ainda são confusos, porque geralmente ocorre carência generalizada do complexo B: anemia hipocrômica, insônia, fadiga, vertigem, distúrbios nervosos e convulsões.

Suas funções principais estão relacionadas com o metabolismo das proteínas. As melhores fontes são as carnes, peixe e aves, batata, aveia, banana, germe de trigo e leguminosas. Uma dieta normal fornece de 1,0 a 1,7 mg diárias de vitamina B₆, suficiente para as necessidades de adultos. Altas doses de piridoxina podem causar dormência nos pés e perda de sensibilidade nas mãos.

Vitamina B₇

A biotina auxilia a digestão de gorduras e funciona como parceira da vitamina B₅ em várias reações no organismo. Possui papel coenzimático na síntese e oxidação de ácidos graxos e na desaminação de certos aminoácidos.

A biotina é encontrada em uma grande quantidade de alimentos, além de ser sintetizada pelas bactérias intestinais. Existem em cogumelos, bananas, melões, morangos, laranjas, fígado, rins, amendoins e leveduras.

A deficiência de biotina está associada à dermatite e pode ser produzida somente pela adição de clara de ovo em uma dieta pobre em biotina. A avidina, presente em claras de ovos cruas, combina-se com a biotina no intestino, tornando-a indispensável para o organismo. A ingestão de clara de ovo crua ocasionalmente não precipita um quadro de deficiência. A necessidade diária recomendada é de 30 µg/dia.

Vitamina B₉

Também conhecida como ácido fólico. É fundamental na divisão de células, principalmente do sangue (eritrócitos e leucócitos); na síntese de nucleoproteínas, DNA e RNA. A carência gera anemia megaloblástica, glossite e transtornos gastrintestinais (lesões internas e defeitos de absorção e diarreia).

Recomenda-se para o adulto 400 µg diárias, aumentando-se para 8 mg na gravidez e 5 mg na lactação. As melhores fontes são os vegetais folhosos, – de preferência crus, pois a cocção destrói 50% dessa vitamina; fígado; leveduras e frutas.

Vitamina B₁₂

Também conhecida como cianocobalamina, é a única que contém cobalto. A sua deficiência causa anemia é conhecida como

perniciosa. Essa vitamina ajuda na formação de células vermelhas do sangue, da bainha de mielina dos nervos, do aparelho digestivo e das moléculas do DNA.

As fontes mais ricas dessa vitamina são: fígado de porco e de vaca, rim, ovos, pescados, leite e queijo. As bactérias da flora intestinal do homem sintetizam essa vitamina. A recomendação diária é de 2,4 μg por dia em adultos.

Minerais

Os minerais correspondem de 4% a 5% do peso corpóreo, sendo que 50% é cálcio, e 25% fósforo. Apresentam-se no organismo na forma de íons e estão envolvidos na atividade enzimática; mantêm o equilíbrio ácido-base; regulam a pressão osmótica; facilitam a transferência de nutrientes na membrana; participam da transmissão nervosa e muscular; constituem alguns tecidos orgânicos.

São divididos em três grupos principais:

1. Macrominerais: cálcio, fósforo, magnésio, enxofre, sódio, cloro e potássio. A recomendação diária é de 100 mg/d ou mais.
2. Microminerais: ferro, zinco, cobre, iodo, cromo, flúor, cobalto, selênio, manganês e molibdênio. Recomenda-se menos de 100 mg/d.
3. Oligominerais: silício, vanádio, estanho, níquel e arsênio. Recomendação de ingestão não definida.

A maioria dos minerais é encontrada nas células vivas, porém nem todos são essenciais para a vida. Os minerais mais importantes são aqueles encontrados em enzimas, hormônios e vitaminas. Exercem funções reguladoras e/ou construtoras. Fazem parte do sangue e auxiliam no equilíbrio do meio líquido do organismo. Dão resistência e conferem eletricidade aos nervos, tenacidade e contratibilidade aos músculos.

O organismo excreta cerca de 20 a 30 gramas de minerais por dia. A reposição se dá por via alimentar, mas para isso a dieta deve ser balanceada.

Os minerais presentes no organismo podem ser classificados de acordo com a proporção em que se encontram:

macronutrientes (presentes em grandes quantidades > 0,005% de peso corpóreo), micronutrientes (presentes em mínimas quantidades < 0,005% de peso corpóreo) e oligoelementos (traços). São 22 minerais, que somam 4% do peso corporal humano.

Alimentos muito processados contêm poucos minerais. Sua determinação é feita através da destruição total da matéria orgânica pelo calor ou ácido e pela posterior análise das cinzas por fotometria de chama e espectroscopia de absorção atômica.

Os macroelementos mais importantes são: cálcio, fósforo, enxofre, magnésio, potássio e sódio. São considerados microelementos: cobre, cobalto, cromo, estanho, ferro, flúor, manganês, iodo, molibidênio, níquel, selênio, silício, vanádio e zinco. Alguns são encontrados como traços nos tecidos: arsênio, boro, cádmio, chumbo, estrôncio, lítio e mercúrio.

Minerais de peso atômico elevado são utilizados em mínimas quantidades, mas constituem perigo quando ingeridos por contaminação que não vem da natureza como: resíduos de indústrias na água e no ar, fertilizantes, inseticidas, pesticidas, lixo, descarga de motores e tintas (Tabela 9.1).

Tabela 9.1 Recomendação de Alguns Minerais Segundo as DRIs e Limite Superior		
Mineral	Quantidade/dia	
	DRI	Limite superior
Flúor	3-4 mg**	10 mg
Zinco	8-11 mg**	40 mg
Magnésio	320-420 mg	350 mg*
Manganês	2-5 mg	
Níquel		1 mg
Iodo	150 µg	1.100 µg
Molibdênio	45 µg	2.000 µg
Cobre	900 µg	10.000 µg
Selênio	55 µg	400 µg

* para agentes farmacológicos.

** para mulheres-homens.

Ação de Alguns dos Minerais Importantes para o Organismo

Cálcio e Fósforo

O leite e seus derivados são alimentos obrigatórios em qualquer idade. São as melhores fontes de cálcio e de fósforo. Estão presentes nos dentes e na calcificação dos ossos. Outras boas fontes de cálcio e fósforo são: gema de ovo, pescados, leguminosas secas (feijão, soja, grão de bico, lentilha) e hortaliças (brócolis, repolho, couve, agrião, cheiro verde). Somente 20% a 30% do cálcio ingerido são absorvidos através de transporte ativo, necessitando de energia. Para ser absorvido ele precisa estar na forma hidrossolúvel e não ser precipitado por outros constituintes da dieta. A vitamina D estimula a absorção do cálcio. O ácido oxálico, presente em vegetais e em algumas frutas, o ácido fítico, encontrado em casca de cereais, e excesso de gordura na dieta combinam-se com o cálcio e impedem sua absorção. Aproximadamente 15% a 30% de cálcio ingerido são absorvidos.

O fósforo forma 1% da massa do corpo, e o cálcio 1,5%. A necessidade média diária de cálcio, estipulada pela ANVISA (Portaria 360), é de 1.000 a 1.200 mg para uma dieta de 2.000 kcal. A ingestão recomendada pelas DR's, de acordo com a faixa etária é de 1.300 mg por dia para adolescentes; 1.000 mg por dia para homens e mulheres com idade entre 19 e 50 anos; 1.200 mg por dia para homens e mulheres com mais de 51 anos. Os ossos e os dentes ficam com 99% dessa cota. O resto vai para o sangue (9 a 11 mg/%) e para os tecidos moles.

O cálcio em excesso na alimentação inibe a adsorção do zinco e vice-versa. Níveis elevados de cálcio no sangue, isto é, hipercalcemia, pode levar a uma calcificação excessiva dos ossos ou de tecidos como os rins. As consequências mais graves da deficiência de cálcio vão desde dores musculares e cárie até a reabsorção óssea, a osteoporose e a perda dos dentes.

O fósforo atua na contração muscular, além de integrar a constituição dos dentes e ossos. Faz parte da estrutura de fosfolipídeos, e nucleoproteína, distribuídos nas células e fluidos extracelular combinado a carboidratos, proteínas e lipídeos. Depende do fósforo a transformação de glicogênio em glicose para fornecer energia. Os fosfatos regulam o equilíbrio ácido-base tanto do plasma como das hemáceas. Está presente em todos os alimentos, e a recomendação diária é de 800 mg.

Ferro

O ferro participa do transporte do oxigênio e gás carbônico, através da hemoglobina. É armazenado temporariamente na forma de ferritina nas células mucosas e daí é liberado para a circulação. Quando o ferro não é utilizado, a taxa de absorção é diminuída. O ácido ascórbico intensifica a absorção do ferro. O ferro dos vegetais, que está na forma férrica (Fe^{3+}), é menos absorvido que o dos alimentos de origem animal (forma ferrosa, Fe^{2+}) porque o ferro ferroso é significativamente mais solúvel ao pH 7,0 e, portanto, mais aproveitável.

A carência de ferro na dieta causa anemia ferropriva, quando os glóbulos vermelhos apresentam-se descorados e diminuídos em tamanho. O indivíduo apresenta fraqueza, palidez, fadiga fácil e falta de ar.

Para evitar anemia, na dieta deve haver: carnes, vísceras (fígado), gema de ovo, leguminosas, acelga e espinafre. A ingestão de alimentos ricos em cálcio diminui a absorção de ferro. A necessidade diária recomendada pela ANVISA, para dieta de 2.000 kcal, é de 8 a 18 mg.

Sódio

O sódio regula a pressão sangüínea, do plasma e dos fluidos intercelulares, além da manutenção do equilíbrio hídrico no interior do organismo, impulsos nervosos, relaxamento e motilidade muscular. A deficiência se dá principalmente por perdas de líquidos, como em queimaduras e gastroenterite, causando fadiga, anorexia, hipotensão (pressão baixa), oligúria (produção insuficiente de urina) e diarreia. Sódio em excesso pode causar elevação da pressão sangüínea, causando dor de cabeça, eritema (vermelhidão) de pele, hipertensão, delírio e até parada respiratória. Lentilha, feijão, fígado, carne de boi, de frango, de porco, leite e gema de ovo são excelentes fontes de sódio.

Uma média diária de 5 g de sódio ou 12 g de sal na dieta são considerados suficientes em clima temperado, mas nos trópicos ou com trabalho pesado, a recomendação é de 2.400 mg por dia, pois com o suor o indivíduo perde 1 g de sódio por dia. O excesso de NaCl aumenta a excreção de cálcio em mulheres nas pós-menopausa.

Potássio

O potássio atua em vários sistemas e órgãos, como na regulação osmótica, manutenção do equilíbrio ácido-base, atividade dos músculos, metabolismo dos glicídeos, síntese protéica, no sangue como tampão protetor das hemáceas, na transmissão nervosa, tonacidade muscular, função renal e na contração da musculatura cardíaca. As melhores fontes de potássio são: café solúvel, levedo de cerveja, chá preto, feijão, grão de bico, caldo de carne, amendoim, soja, avelã, bacalhau, chocolate em pó, espinafre, batata, almeirão e banana.

A necessidade média diária recomendada de potássio para um adulto é de 2.000 mg.

Cloro

O cloro combina-se com sódio e potássio no organismo. Regula a pressão osmótica e o equilíbrio ácido-base para manutenção do pH dos líquidos do corpo: água e sangue. No estômago, produz acidez para o início da digestão e ativa enzimas. O cloro se encontra combinado ao sódio na natureza, formando o sal. Sua concentração no organismo é de aproximadamente 90 g para um indivíduo de 60 kg.

A baixa concentração de cloro no organismo provoca câibra muscular, perda de apetite e, em raros casos, morte. É considerado atóxico. A necessidade diária recomendada é de 750 mg para um adulto e 1.300 mg para adolescentes (DRI).

Enxofre

O enxofre forma e regenera cabelos, unhas e pele. Está presente nos aminoácidos sulfurados, metionina, cistina e cisteína e, portanto, na estrutura de todas as proteínas do organismo. É encontrado em carnes, ovos, peixe, mostarda, alho, couve, feijão, lentilha, soja e germe de trigo.

Magnésio

O magnésio está nos pigmentos verdes dos vegetais, permitindo a utilização de energia solar e síntese das substâncias orgânicas indispensáveis à vida vegetal e animal. Exerce papel de coenzima específica em grande número de enzimas essenciais

em diversos processos metabólicos. Atua na contração muscular e na transmissão nervosa. Sua carência gera náuseas, tremor, convulsão, diarreia, problemas diuréticos, alterações de pressão e de personalidade.

Alimentos como leite, vegetais verdes e cereais são boas fontes de magnésio. Sua recomendação diária para adultos saudáveis é de 350 mg.

Zinco

Participa das reações de síntese e degradação de carboidratos, proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos. A recomendação desse mineral é de 12 a 15 mg diárias. É encontrado em carne bovina, peixe, aves, leite e derivados.

A deficiência de zinco na dieta causa baixa estatura, hipogonadismo e anemia suave. Altas doses de ingestão provocam interferência na absorção de cobre.

A Tabela 8.1 nos apresentou a recomendação diária (DRIs) e limite superior para homens e mulheres adultos saudáveis de alguns minerais.

Alimentos Funcionais

Segundo a *International Life Sciences Institute North América Food Component Reports*, alimentos funcionais são aqueles que contêm componentes fisiologicamente ativos, capazes de proporcionar propriedades funcionais e de promover a saúde, além dos benefícios puramente nutricionais.

O registro de alegações de alimentos com propriedades funcionais está descrito nas Resoluções do Ministério da Saúde/ANVISA, de números 16-19/99. As substâncias bioativas são regulamentadas pela Resolução nº 2/02.

A legislação brasileira, através da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), determina que alimentos funcionais são aqueles que produzem efeitos metabólicos ou fisiológicos através da atuação de nutrientes ou não-nutrientes no crescimento, desenvolvimento, manutenção e em outras funções normais do organismo humano, promovendo boa saúde física e mental, podendo auxiliar na redução de doenças crônico-degenerativas.

Os alimentos funcionais começaram seu desenvolvimento por volta da década de 1980, no Japão, por causa do aumento do número de consumidores interessados na relação entre qualidade de vida e saúde com alimentação.

A classificação de alimento funcional está diretamente relacionada às seguintes condições:

- a) Ser um alimento.
- b) Não ser apresentado em forma de cápsulas, comprimidos, suplementos ou complementos.
- c) Não deve ser consumido em substituição à dieta ou como parte dela.

- d) Deve apresentar uma ou mais funções específicas com o objetivo de atuar de modo a produzir efeitos benéficos à saúde e bem-estar, como: regular um processo metabólico, aumentar os mecanismos de defesa, prevenir doenças, aumentar a resistência e controlar as condições físicas de envelhecimento.

A aprovação do alimento com designação de funcional depende da comprovação de suas propriedades, por meio de análises, tais como:

- a) composição centesimal;
- b) origem ou fonte de obtenção;
- c) ensaios clínicos e bioquímicos;
- d) ensaios nutricionais, fisiológicos e toxicológicos;
- e) estudos epidemiológicos;
- f) evidência na literatura científica ou comprovação de uso tradicional;
- g) recomendação de consumo;
- h) aprovação em outros países.

O nutriente ou não-nutriente associado a qualquer espécie de vegetal ou de uso de medicina popular não é considerado alimento, independente da concentração do nutriente ou não-nutriente.

As principais funções dos alimentos funcionais são: redução do risco de doenças cardiovasculares e de câncer; controle da obesidade, da função imune e de fatores de envelhecimento; melhoria das condições físicas e do humor.

Entre os alimentos funcionais estão os chamados probióticos e prebióticos, fibras, ferro, selênio, ácidos graxos ω -3 e ω -6, óleo vegetal, oligossacarídeos, polióis, fitoquímicos, antioxidantes, vitaminas C, A, D e E, distribuídos em alimentos convencionais, fortificados, enriquecidos ou realçados e suplementos alimentares. Cada um deles oferece propriedades específicas ao organismo, mas não podem ser considerados medicamentos para efeito de cura de qualquer doença.

São exemplos de alimentos reconhecidos como funcionais: certos peixes e alimentos ricos em carotenóides, farelo de aveia, leite enriquecido com ω -3 e alimentos geneticamente modificados.

Os prebióticos apresentam em sua constituição compostos não digeríveis pelas enzimas e condições digestivas do organismo. Atuam na microflora intestinal melhorando e estimulando o

crescimento de um número limitado de bactérias do cólon com a finalidade de restabelecer o equilíbrio do meio. São exemplos de prebióticos: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* e *Bifidobacterium animalis*. A recomendação diária é de 20 g para indivíduos saudáveis. Mais de 30 g de ingestão diária pode causar diarreia e flatulência.

Os probióticos são microrganismos vivos que, quando ingeridos em determinada concentração, exercem efeitos benéficos para a saúde, melhorando o equilíbrio da flora intestinal, pelo aumento do número de microrganismos benéficos e diminuição de bactérias nocivas. A combinação de probióticos e prebióticos resulta no conceito de simbiótico. São exemplos os oligossacarídeos como oligofrutose e inulina.

Os ácidos graxos, ômega-3 (ω -3) e ômega-6 (ω -6), possuem efeito hipocolesterolêmico e reduzem os níveis de LDL sangüíneo no controle da pressão arterial e dos principais fatores de risco para doenças coronarianas pois reduzem a agregação plaquetária, a viscosidade do sangue, e as arritmias cardíacas. Sua ação é dividida em modificação na composição das membranas celulares e das lipoproteínas, por aumentar a excreção biliar e fecal do colesterol e reduzir a síntese de VLDL pelo fígado.

As fibras dietéticas, como apresentado no Capítulo 06 – Fibras Alimentares –, promovem retardo no processo de absorção de alimentos no estômago, contribuindo para regular as funções intestinais, prevenindo constipação, e reduzem o colesterol. As fibras previnem a formação de cálculos renais, a obesidade e têm efeito hipotensivo. Nos diabéticos, pode atuar na redução da absorção de açúcar pelo organismo. As fibras alimentares também são consideradas alimentos com propriedades funcionais permitidas na formulação de alimentos com alegação de melhorar a flora intestinal e o funcionamento do intestino. Entre as fibras alimentares com permissão pela ANVISA para serem usadas com esse propósito encontram-se: betaglucanas, frutooligosacarídeos (FOS), inulina, lactulose, *psyllium* ou *psillium* e quitosana.

O ferro é o principal responsável pela incidência de anemia, sobretudo em crianças e idosos, devido à carência de mineral na dieta da população de menor poder aquisitivo.

O consumo de óleos vegetais é recomendado para baixar os níveis de colesterol e arteriosclerose por ser constituída de ácidos graxos de cadeia polinsaturada. São bons exemplos de alimento: os óleos de oliva, girassol, canola, palma, de fibras de milho, de

linhaça e soja. Vários estudos têm demonstrado que o óleo de girassol favorece a redução do colesterol plasmático e de LDL, provocando menor incidência de arteriosclerose e ataques cardíacos. O uso de óleo de oliva tem sido responsável pela diminuição dos índices de mortalidade por causas cardiovasculares nas populações do Mediterrâneo.

Os fitosteróis, da classe dos esteróis, são encontrados nos vegetais e são responsáveis pela estabilização das membranas celulares. O consumo de 2 g/dia de esteróis pode resultar em redução dos riscos de doenças coronarianas em 25% dos casos. Muitos alimentos são preparados com quantidades suficientes para combate efetivo do colesterol sangüíneo.

As isoflavonas extraídas da soja são classificadas como fito-estrógeno, com função de redução de doenças relacionadas a hormônios.

O mercado nacional tem sentido uma maior demanda por esses produtos e a indústria de alimentos tem contribuído para atender as exigências, cada vez maiores, da população, nutricionistas, nutrólogos e médicos interessados em ter uma alimentação mais saudável.

Interação entre Alimentos e Drogas

A interação droga-alimento é definida por reações adversas que ocorrem entre um ou mais componentes da droga e do alimento tendo como resultado alterações da efetividade ou toxicidade do medicamento.

As consequências da interação de drogas ingeridas com alimentos e bebidas incluem retardamento, diminuição ou aumento da absorção do medicamento, podem provocar alterações no apetite e nas sensações de aroma e sabor de alimentos ou determinar um indesejável sabor residual, acarretando em sobrepeso ou desnutrição.

Alimentos e seus nutrientes podem afetar a biodisponibilidade, metabolismo e excreção de certos medicamentos ou inibir a absorção de dietas ricas em ácidos graxos, proteínas e fibras. Os medicamentos podem dificultar a eliminação dos nutrientes. As drogas podem acelerar o metabolismo de certos nutrientes, resultando em maior necessidade de reposição de um nutriente em especial. A mais importante interação está relacionada com a queda da biodisponibilidade nutricional devido à ação quelante da droga com os nutrientes dos alimentos.

A mudança do pH da urina, a dieta e o balanço nutricional influem no processo de absorção e excreção das drogas. Geralmente, a acidez do trato gastrointestinal afeta o poder de ação da droga.

As drogas que mais causam danos ao organismo são aquelas que provocam lesão da mucosa intestinal. Elas destroem os microvilos impedindo a ação enzimática e a

boa absorção pela parede intestinal. A má absorção de nutrientes em diferentes graus pode agravar a saúde geral do indivíduo.

Mas nem todas as interações ocorrem juntas ou em todas as pessoas. Alguns indivíduos são mais vulneráveis, dependendo do tipo, dosagem e número de drogas ingeridas, além do seu estilo de vida, estado nutricional, idade e sexo. Muitos medicamentos têm em sua formulação ingredientes capazes de interagir com o organismo humano em diferentes modos.

A interação alimento-droga pode impedir a ação da droga, causar efeitos colaterais ou desconhecidos. Ou ainda, induzir mudanças no uso do alimento pelo organismo. Danos podem ocorrer ao fígado (hepatotoxicidade) e aos rins (nefrotoxicidade) por serem utilizados para excreção de muitas drogas.

Durante a absorção as drogas estão sujeitas à ação de enzimas antes de serem distribuídas pelo corpo. Isto pode resultar em parcial ou total, biotransformação da droga em compostos farmacologicamente ativos ou derivados inativos. Os principais lugares onde estas reações podem ocorrer são a parede intestinal, fígado, rins e pulmão.

Alguns medicamentos podem afetar a concentração de glicose sanguínea, inibindo ou estimulando a secreção de insulina, assim como, outros que podem causar aumento do colesterol LDL e triglicerídeos e diminuição do HDL.

A presença de alimento no estômago muda a mobilidade gástrica e neste momento, a secreção gástrica e o tempo de residência aumentam. Este período depende da natureza do quimo, isto é, volume, estrutura física e composição. Consequentemente, a taxa de absorção da droga tende a diminuir quando ingerida com alimentos comparada ao estado de jejum. E isto é importante para as drogas que necessitam agir rapidamente como é o caso dos analgésicos ou sedativos.

Para outros medicamentos, a extensão da absorção pode aumentar com uma refeição. Isto porque o tempo de residência e o volume fluido são maiores produzindo melhor dissolução. Alguns componentes presentes nos alimentos podem interagir com o princípio ativo da droga impedindo sua melhor ação. Enquanto que outros nutrientes podem favorecer o metabolismo da droga.

Há medicamentos que promovem lesões nas paredes de estômago, e por isso, devem ser ingeridos com estômago cheio, favorecendo um tempo maior de retenção do produto no estômago e permitindo sua maior absorção no intestino. Por exemplo, nos

tratamentos de angina com compostos contendo nitrato, antipicóticos, nos casos de hipotireoidismo ou na desordem bipolar, a medicação deve ser realizada juntamente com alimentos para aumentar a sua ação.

Bebidas alcoólicas, alimentos e bebidas que contenham cafeína causam diminuição ou potencialização do efeito da droga, colocando em risco a saúde do fígado e, com isso, aumentam as chances de efeitos colaterais, como dor de estômago, náuseas, vômitos, irritabilidade, dor de cabeça, coma ou morte. A cafeína está presente na composição de muitos medicamentos para dor de cabeça por ser um bom agente contra a dor. Além disso, ela é considerada uma substância estimulante contribuindo para o aumento da frequência cardíaca e respiratória, da pressão arterial, bem como estimula o trato intestinal.

Bons exemplos de interação de certas drogas com os componentes de alimentos resultando em redução de sua biodisponibilidade são as interações entre tetraciclina e dietas contendo cálcio, penicilina e metais pesados, e entre formulações de ferro e ácido tânico (presente em chás).

Outras drogas, como as utilizadas para tratamento de doenças cardiovasculares podem aumentar a concentração de potássio no corpo. A ingestão de alimentos ricos em potássio, como banana, laranja, vegetais de folhas verdes ou sal contendo potássio, elevam os níveis de potássio no sangue. Alta concentração de potássio pode causar batimento cardíaco irregular ou palpitações.

Em pacientes hipertensos, é conveniente ingerir alimento juntamente com o medicamento para evitar queda de pressão repentina e acentuada.

Diuréticos e laxativos podem levar à desnutrição uma vez que carregam minerais e vitaminas rapidamente nos intestinos, sem tempo suficiente para serem absorvidos. Os laxantes são drogas que roubam do organismo vitaminas lipossolúveis como a vitamina D, e minerais como o cálcio, acelerando a perda óssea. O uso de alguns tipos de diuréticos diminui a habilidade do fígado de remover potássio aumentando sua concentração na corrente sanguínea. Provocam aumento da concentração de lipídeos e lipoproteínas bem como prejudicar a tolerância à glicose.

Antiácidos que contêm alumínio em sua composição produzem redução na absorção de ferro e aumentam a excreção de cálcio e fósforo.

Os contraceptivos orais em doses orais diárias alteram a absorção de nutrientes. Após os 35 anos de idade, os anticoncepcionais apresentam tendência em aumentar o nível e colesterol total, triglicerídeos, diminuir HDL, aumentando consequentemente, a probabilidade de doenças cardiovasculares. Podem ainda causar retenção de sódio.

Anticoagulantes, inibidores de refluxo, antibacterianos, antifúngicos, antidepressivos, tratamento de osteoporose, podem ser ingeridos com estômago cheio ou vazio.

Medicamentos a base de tiramina, usados para tratamento de infecções causadas por micobactéria (para tuberculose) devem ser administrados com alimentos isentos de cafeína, tiramina e histamina.

Enquanto que sedativos e alguns antibióticos devam ser ingeridos com estômago vazio, outros, por sua vez, devem ser administrados duas horas antes ou depois de uma refeição, sempre evitando alimentos, como leite, queijo e iogurte, sorvete, por serem alimentos fontes de cálcio que complexa com a droga diminuindo sua ação. Em geral, os antibióticos reduzem a produção intestinal de biotina, ácido pantotênico e vitamina K, podem acelerar a passagem de alimento pelo intestino além de diminuir sua disponibilidade para absorção.

Há medicamentos que provocam inativação das enzimas presentes no fígado, causando acúmulo de substâncias tóxicas, podendo ser fatal.

A aspirina, em doses altas e constantes, é responsável pelo sangramento do estômago o suficiente para causar anemia devido à deficiência de ferro. O ácido acetilsalicílico interfere no armazenamento de vitamina C, causa perda de ferro através do trato intestinal.

Outro exemplo de interação droga-alimento pode ser visto em certos medicamentos para tratamento de depressão e alimentos contendo tiramina, causando constrição dos vasos sanguíneos e elevação da pressão arterial.

Os corticosteroides são responsáveis por estimular o catabolismo protéico, deprimir a síntese protéica, tendo como resultado no organismo a diminuição da cicatrização e formação óssea, aumenta a taxa de glicose circulante.

Antidepressivos, como podem aumentar o apetite podem provocar possível aumento de peso, glicose sanguínea alterada e aumento da excreção de cálcio.

As penicilinas permitem maior eliminação de potássio na urina, causando a hipocalcemia.

Muitas drogas já foram identificadas como causadoras de lesões hepáticas, desde uma hepatite aguda até crônica. Hepatite aguda pode ser causada por dano elevado dos hepatócitos, manifestado pelo derramamento biliar e incluindo necrose, esteatose ou degeneração. A hepatite crônica é caracterizada por síndromes que refletem desde a cirrose até um assintomático estado de anormalidade laboratorial.

Algumas recomendações devem ser observadas antes da administração de qualquer droga. Se a tolerância à droga é difícil, seu uso regular deve ser acompanhado de um alimento, desde que não haja interação. Se o alimento impede a ação da droga, ela deve ser administrada com estômago vazio. Se a droga oferece risco de efeitos adversos de dependência de concentração, então se deve estabelecer um horário fixo em relação às refeições. Há drogas que são muito pouco absorvidas quando a administração é por via oral, mas precisa de formulação parenteral, ela pode ser aplicada juntamente com um alimento.

Sugestão de Questões para Estudo

1. De onde vem a energia para as atividades vitais dos seres vivos?
2. Qual é a importância da anidrase carbônica?
3. Muitos fumantes crônicos apresentam um grave quadro de enfisema, no qual há destruição de grande parte das paredes alveolares. O que isso provoca nessas pessoas?
4. Comparando ao estado de repouso, o músculo em contração vigorosa demonstra uma conversão aumentada de piruvato em lactato. Explique as reações envolvidas.
5. Que é energia metabolizável, não metabolizável, digerível e não digerível?
6. Por que os batimentos cardíacos aumentam durante uma fuga?
7. Por que o medo e a raiva retardam o processo digestivo?
8. Suponha que um indivíduo ingeriu uma dieta contendo somente carboidratos, de fontes alimentares diferentes. Após a digestão, quais carboidratos podem ser encontrados na sua circulação sanguínea e nas fezes deste indivíduo?
9. Para maratonistas, a corrida é uma atividade vigorosa e longa, que requer grande quantidade de energia. Como um atleta obtém a energia necessária para a boa realização dessa prova?

10. No diabético, a secreção de insulina pelas células β das ilhotas do pâncreas é deficiente. Quais as consequências para um indivíduo que apresenta essa anomalia?
11. Apesar de existir a conversão do etanol em acetil-CoA para que seja metabolizado no organismo, por que o etanol é considerado um alimento de energia vazia?
12. Por que ocorre o aumento da formação de corpos cetônicos durante o jejum?
13. Por que aterosclerose é uma doença que pode alterar a pressão sangüínea de um indivíduo? Quando isso pode acontecer?
14. Que é *Score* Químico e como ele indica a qualidade de uma proteína?
15. Defina proteína completa e incompleta.
16. Como a desnaturação química ou física afeta a qualidade da proteína?
17. Explique a digestão de uma proteína formada por 70 aminoácidos.
18. Quais as enzimas importantes para digestão protéica e onde elas são formadas?
19. Qual a quantidade de arroz necessária para fornecer 100 Kcal, sabendo-se que sua composição centesimal é: 7,2 % de proteína, 1,5 % de gordura e 77,6 % de carboidrato? Supor D = 100%.
20. A hemoglobina é uma proteína com função específica no organismo de transportar oxigênio. Caso o organismo não consiga sintetizá-la, o que isso acarretaria para o metabolismo?
21. SQ da proteína de um alimento X é 85%. Para uma criança de 9 anos e 30 kg, o nível seguro de ingestão protéica é 0,88g de proteína/kg/dia. Se ela ingerir esse alimento, quantos gramas dessa proteína serão necessários para ajustar a qualidade dessa proteína para 100%?
22. Caso um cientista causasse destruição do citoplasma das células em estudo de um ser vivo, o que acontecerá a esse ser? Explique.
23. Sabe-se que a arginina e a citrulina são dois aminoácidos envolvidos na síntese de uréia pelo fígado. Caso o organismo não consiga sintetizá-los, o que isso poderia provocar no metabolismo orgânico?

24. Supondo que as mitocôndrias de uma célula sejam eliminadas, qual seria o produto final do processo respiratório e a quantidade de energia produzida por essa célula?
25. Em altitudes elevadas, indivíduos não residentes levam alguns dias para adaptação ao novo meio ambiente, antes de praticar qualquer tipo de atividade física. Nesse período, algumas alterações no metabolismo são necessárias. Explique o processo da troca gasosa nestes indivíduos.
26. Por que alguns aminoácidos são considerados cetogênicos e outros glicogênicos? Especifique a influência dos compostos formados durante o catabolismo energético.
27. O exame de sangue de um indivíduo constatou alta taxa de triglicerídeos. Fale se os hábitos alimentares desse paciente influíram nesse resultado e se há riscos para sua saúde.
28. Qual é a quantidade de energia fornecida, em kcal, por 1 mol do monoglicerídeo ácido esteárico (ácido graxo saturado, com 18 carbonos). Qual é a energia fornecida por esse mesmo lipídeo no calorímetro? Explique como a diferença de energia é aproveitada pelo organismo.
29. O colesterol é um constituinte essencial a toda célula e ao mesmo tempo pode tornar-se perigoso à saúde. Explique. Qual a relação do colesterol com as lipoproteínas?
30. Explique o processo da β oxidação e o papel da bile na digestão de lipídeos.
31. Quais cuidados nutricionais seriam recomendados para um paciente com mal absorção intestinal recebendo alguma medicação.
32. Compare a taxa de absorção e energia de carboidratos, proteínas e lipídeos.
33. Qual a função de minerais e vitaminas no processo de absorção dos nutrientes?
34. Explique o processo de armazenamento de lipídeos no organismo.

Bibliografia Consultada

1. Amaya-Farfán, J & Pacheco, M.T. Amino Acids / Properties and Occurrence. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. p. 181-1912. Ed. By Caballero, B. Trugo, L.; Finglas, P., 2003.
2. Anvisa. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legislacao/2007/>,
3. Bellows, L.; Moore, R. Nutrient-Drug Interactions and Food. Colorado State University Extension 12/96 - www.ext.colostate.edu
4. Bobbio PA, Bobbio F. Química do processamento de alimentos. São Paulo: Varela, 1992.
5. Bushra, R.; Aslam, N.; Khan, A. Y. Food-Drug Interactions. Oman Medical Journal 26 (2): 77-83, 2011.
6. Champe, PC, Harvey RA. Bioquímica ilustrada. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 1996.
7. CODEAGRO/SP. ILSI do Brasil. Disponível em: <http://www.agricultura.sp.gov.br/Codeagro.asp> – 2007/Programas de alimentação.
8. Conn, EE, Stumph PK. Introdução à bioquímica. São Paulo: Edgar Blucher, 1975.
9. Coutinho, R. Noções de fisiologia da nutrição. 2ª ed. Rio de Janeiro: Cultura Médica e MEC, 1981.
10. Cozzolino, SMF. Usos e aplicação das dietary references intakes, DRIs – Novas recomendações de nutrientes, interpretação e utilização. ILSI Brasil, 2001.
11. De Angelis, RC. Fisiologia da nutrição. V 1. 2ª ed. Universidade de São Paulo, 1986. p. 193-208.

- 12.** Dutra, IE et al. Nutrição básica. São Paulo: Sarvier, 1982.
- 13.** Fisberg, RM et al. Inquéritos alimentares: métodos e bases científicas. São Paulo: Manole, 2005.
- 14.** Franco, G. Nutrição: texto básico e tabela de composição química dos alimentos. Rio de Janeiro: Atheneu, 1982.
- 15.** Goodhart, R.S. Modern Nutrition in health and disease, Philadelphia, Lea & Febiger, 1980.
- 16.** Gubert, MB. Manual de antropometria. Universidade de Brasília, 2001.
- 17.** Guyton, AC. Fisiologia humana. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.
- 18.** Harper. Manual de química fisiológica. 5ª ed. São Paulo: Atheneu, 1982.
- 19.** Jacob, Francone. Anatomia e fisiologia humana. Rio de Janeiro: Interamericana, 1974.
- 20.** Lamb, MW. The meaning of human nutrition. New York. Toronto: Pergamon Press, 1973.
- 21.** Lehninger, AL. Principles of biochemistry. Worth Publishers, 1987.
- 22.** Livingstone. PJ et al. Issues in dietary references intakes assessment of children and adolescents. British J. Nutrition. 92, Suppl.2, S213-S222, 2004.
- 23.** Lorrain, AG. La alimentación coletiva y recetaria de cocina institucional Instituto Geográfico Militar do Chile, 1974.
- 24.** Mahan, Krause. Alimentos, nutrição & dietoterapia. São Paulo: Roca, 1985.
- 25.** Marchioni, DML. Aplicação das dietary references intakes na avaliação da ingestão de nutrientes para indivíduos. Rev. Nutr. 17(2): 207-216, 2004.
- 26.** Mcardle, WD et al. Fisiologia do exercício, energia e desempenho humano. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.
- 27.** Pat: Programa de Alimentação do Trabalhador. Ministério do Trabalho. Secretaria de Promoção Social, 1978.
- 28.** Philippi, ST. Pirâmide alimentar adaptada: guia para a escolha dos alimentos. Rev. Nutri. Campinas, 12(1): 65-80, 1999.

29. Raw, I.; Krasilchik, M.; Mennucci, L. A Biologia e Homem. v.4, Ed. Univers. De São Paulo, p.169, 2001.
30. Sá, NG. Nutrição e dietética. Rio de Janeiro: Nobel, 1990.
31. Salway, JG. Metabolism at a glance. 3ª ed. Blackwell Publishing, 2004.
32. Sgarbieri, VC. Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento. São Paulo: Unicamp, 1987.
33. Sgarbieri VC. Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradação, modificações. São Paulo: Varela, 1996.
34. Slater, B. et al. Estimando a prevalência da ingestão inadequada de nutrientes. Rev. Saúde Pública 38(4): 599-605, 2004.
35. Schaafsma, G. The protein digestibility – corrected amino acid score. J. Nutr. 130: 1865S1867S, 2000.
36. Sizer, F, Whitney E. Nutrição – conceitos e controvérsias. 8ª ed. São Paulo: Manole, 2003.
37. Souza, I.A.; Filho, M.B.; Ferreira, L.O.C. Alterações hematológicas e gravidez. Rev. Bras. De Hematologia e Hemoterapia 24 (1), 2001.
38. Tastaldi H. Práticas de bioquímica. V.1, 7ª ed. São Paulo: USP, 1965.
39. Technical Report Series 935 Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation (2002 : Geneva, Switzerland).
40. Toma, R.B. et al. Dietary Fiber: effect on mineral bioavailability. Food Technology, 1986
41. Triplitt, C. Drug Interactions of Medications Commonly Used in Diabetes. Diabetes Spectrum, 19 (4), 202-211, 2006.
42. Trumbo, et al. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acid, cholesterol, protein and amino acid. J. of America Dietetic Associations, 102 (2): 1621-30, 2002.
43. Trumbo, et al. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, cooper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. J. of America Dietetic Associations, 101 (3): 2001.
44. _____, Enseñanza de reducción in agricultura - un enfoque multidisciplinário. Santiago do Chile: INAN/FAO, 1982.
45. Turatti, JM et al. Lipídeos: aspectos funcionais e novas tendências. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria da Agri-

cultura e Abastecimento. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios: ITAL, 2002.

46. _____, Energy and protein requeriment. Report of a joint FAO/WHO - Termical Report, séries nº 522, Geneva: World Health Organization, 1973.
47. Winstanley, P. A.; Orme, M. L'E. The effects of food on drug bioavailability. Br. J. Clin. Pharmac. 28: 621-628, 1989.
48. www.fda.gov/consumer/updates/interactions112808.html. The rate of adverse drug reactions increases dramatically after a patient is on four or more medications. FDA- Consumer Health Information / U. S. Food and Drug Administration, 28, nov. 2008.



CAPÍTULO 14

Anexo

Lactação	≤18 anos	210	29*	ND	13*	1,3*	71
	19-30 anos	210	29*	ND	13*	1,3*	71
	31-50 anos	210	29*	ND	13*	1,3*	71

Fonte: Trumbo et al. Dietary Reference Intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acid, cholesterol, protein and aminoacid. J. of Americas Dietetic Associations, 102 (2): 1621-30, 2002.

NOTA:

- A Tabela 14.1 apresenta Valores de Ingestão Dietética Recomendada (RDA) em negrito, e Ingestão adequada (AI) em caracteres comuns seguidos de asterisco(*).
- RDAs e AIs podem ser usados como metas para ingestão individual.
- RDAs são indicados para cobrir as necessidades de quase todos (97%-98%) os indivíduos do grupo.
- Para bebês saudáveis sendo amamentados, a AI é a média de ingestão.
- AI para outras faixas etárias e diferentes gêneros é tido como capaz de cobrir as necessidades fisiológicas de todos os indivíduos no grupo, mas a ausência ou insuficiência de dados impede especificar com exatidão a porcentagem de indivíduos atingidos pela ingestão.
- *Baseado em 0,8g de proteína/kg de peso para peso corporal de referência.

Tabela 14.2 Dietary Reference Intakes (DRIs): Ingestão Recomendada para Indivíduos, Minerais. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academics													
Faixa Etária		Cálcio mg/d	Cromo mg/d	Cobre mg/d	Fluoreto mg/d	Iodo mg/d	Ferro mg/d	Magnésio mg/d	Manganês mg/d	Molibdênio mg/d	Fósforo mg/d	Selênio mg/d	Zinco
Infantil	0-6 meses	210*	0,2*	200*	0,01*	110*	0,27*	30*	0,003*	2*	100*	15*	2*
	7-12 meses	270*	5,5*	220*	0,5*	130*	11	75*	0,06*	3*	375*	20*	3
Crianças	1-3 anos	500*	11*	340	0,7*	90	7	80	1,2*	17	460	20	3
	4-8 anos	800*	15*	440	1*	90	10	130	1,5*	22	500	30	5
Homens	9-13 anos	1300*	25*	700	2*	120	8	240	1,9*	34	1230	40	8
	14-18 anos	1300*	35*	890	3*	150	11	410	2,2*	40	1350	55	11
	19-30 anos	1000*	35*	900	4*	150	8	400	2,3*	45	700	55	11
	31-50 anos	1000*	35*	900	4*	150	8	420	2,3*	45	700	55	11
	51-70 anos	1200*	30*	900	4*	150	8	420	2,3*	45	700	55	11
	>70 anos	1200*	30*	900	4*	150	8		2,3*	45	700	55	11
Mulheres	9-13 anos	1300*	23*	700	2*	120	8	240	1,6*	34	1250	40	8
	19-30 anos	1300*	24*	890	3*	150	15	360	1,6*	43	1250	55	9
	31-50 anos	1000*	25*	900	3*	150	18	310	1,8*	45	700	55	8
	51-70 anos	1000*	25*	900	3*	150	18	320	1,8*	45	700	55	8
	>70 anos	1200*	20*	900	3*	150	8	320	1,8*	45	700	55	8
Gestantes	≤18 anos	1300*	29*	1000	3*	220	27	400	2*	50	1250	60	13
	19-30 anos	1000*	30*	1000	3*	220	27	350	2*	50	700	60	11
	31-50 anos	1000*	30*	1000	3*	220	27	360	2*	50	700	60	11

Lactação	≤18 anos	1300*	44*	1300	3*	290	10	360	2,6*	50	1250	70	14
	19-30 anos	1000*	45*	1300	3*	290	8	310	2,6*	50	700	70	12
	31-50 anos	1000*	45*	1300	3*	290	8	310	2,6*	50	700	70	12

Fonte: Trumbo et al. Dietary Reference Intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. J. of American Dietetic Associations, 101 (3): 2001.

NOTA:

- A Tabela 14.2 apresenta valores de Ingestão Dietética Recomendada (RDAs) em negrito e as Ingestões adequadas (Ais) em caracteres comuns seguidos de asterisco(*) .
 - RDAs e Ais podem ser usadas como guia para a ingestão individual .
 - RDAs são designados para satisfazer as necessidades de quase todos (97%-98%) dos indivíduos em um grupo .
 - Para bebês saudáveis sendo amamentados, as Ais são a ingestão média.
 - Acredita-se que Ais para outros estágios de vida e diferentes gêneros cubram as necessidades de todos os indivíduos no grupo.
- No entanto, a ausência ou insuficiência de dados impede especificar com exatidão a porcentagem correta.

Índice Remissivo

2, 3 BPG, funções da, 53

A

Ácido(s)

- ascórbico, 86
- glicocólico, 23
- glutâmico, 95
- graxo(s), 155
 - efeitos dos hormônios no metabolismo dos, 83
 - insaturado, 70
 - fonte alimentar, 71
 - metabolismo dos, 82, 83
 - saturado, fonte alimentar de, 70
- lático, conversão do, 48
- linoleico, 68
- linolênico, 68
- nicotínico, 86
- pantotênico, 144
- pirúvico, 39

Acroleína, 72

Açúcares, propriedades gerais, 30

Adrenalina, 36

Água

- balanço de, 58
- fontes no organismo, 58

Albuminas, 103

Álcool etílico no fígado,
transformações do, 62

Alcoolismo, 60

Alimentação

- boa, como garantir, 3
- custo da, 3

Alimento(s)

- da dieta, como medir os, 9
 - drogas e, interação entre, 157-160
 - energia dos, 15
 - funcionais, 153-157
 - o que são nutrientes dos?, 13-18
 - porções por grupo, exemplos, 11
 - valor biológico de alguns, 117
- Amidos, propriedades gerais, 30

Aminoácido(s)

- biodisponibilidade do,
determinação da, 105
- conversão nos processos
metabólicos, produto final de,
104
- do arroz e feijão, composição,
113
- essenciais das proteínas padrão,
composição dos, 107
- não essenciais, 95
- necessidades estimadas para um
homem adulto e uma
criança, 109
- reação de polimerização de, 90

Anemia

- ferropriva, 150
- hipocrômica, 144
- perniciosa, 146

Anticorpos, 103

Antidepressivos, 160

Aparelho digestório, 32

Apoenzima, 22

Arginina, 95

Asparagina, 95

Atividade física, gasto de energia
na, 47

ATP, rendimento pelo metabolismo
anaeróbico, 46

B

Balanço

- de água, 58
- energético
 - da oxidação da glicose, 56
 - da respiração, 55
- metabólico, 115
- orgânico, 18

Betaglucanas, 155

β -oxidação, cálculo energético, 87

Bifidobacterium animalis, 155

Bile, composição da, 78

178 • Índice Remissivo

Biotina, 145
Bócio, 14
Bomba calorimétrica, 16

C

Cadeia
 carbônica, 102
 polipeptídica, 96
 respiratória, 43
Cálcio
 ação no organismo, 149
 função, 14
Calorímetro, 15
Caminhos metabólicos, distribuição dos
 compostos importantes do
 metabolismo, 23
 enzimas, 21
Câncer de cólon, 135
Carboidratos
 absorção, 34
 digestão, 32
 modificados, 31
 oligossacarídeos, 29
 para o homem, funções dos, 31
 polissacarídeos, 29
Cárie dentária, 141
Cefalina, 76
Cegueira noturna, 140
Celulose lignina, 124
Cera, 124
Cerebrosídeos, 76
Cerídeos, 75
Cianocobalamina, 145
Ciclo
 de Cori, 46, 49
 de Krebs, 23
 de ureia, diagrama, 100
Cirrose hepática, 64
Citrato na via glicolítica, papel do, 41
Citrulina, 95
Cloro, ação no organismo, 151
Coeficiente
 de digestibilidade, 17
 de eficiência proteica, 113
Colecistopatias, 137
Colestamina, 86
Colesterol, 67
 conteúdo, 80
 valores de referência para
 adultos, 86

Colina, 85
Constipação, 135
Convulsão, 64, 144
Corticosteroides, 160
Creatina, 95

D

Degradação bacteriana, 128
Delirium tremens, 64
Dermatite, 145
Desaminação, 100
Descarboxilação, 102
Desidrogenação, 44
Desnutrição, 4
Detergência, 77
Diabetes, 137
Dieta
 como planejar, 6
 desejada, 4
 nutrientes, proporção na, 8
Dietary Reference Intakes (DRIs), 172
Digestibilidade
 dos carboidratos e produtos de
 digestão, 30
 dos nutrientes de alguns
 alimentos, 118
 valores do para algumas
 proteínas, 123
Disfunção do baço, 64
Dissulfiram, 65
Distribuição proteica no organismo, 98
Distúrbios nervosos, 144
Diuréticos e laxativos, 159
Diverticulite de cólon, 136
Dopamina, 103
Dormência, 145
DRIs (*Dietary Reference Intakes*), 5

E

Eliminação de CO₂ do organismo,
 mecanismo de, 56
Energia
 dos alimentos, 15
 em grandes altitudes, obtenção, 52
 na atividade física, gasto de, 47
 na cadeia respiratória, produção, 44
 no organismo, distribuição da, 17
 para trabalho celular, utilização, 38

Enxofre, ação no organismo, 151
 Enzimas, 21, 104
 metabólicas, 43
 Eritroproteína, 67
 Esfingolipídeos, 76
 Esforço físico
 de curta duração, 45
 de longa duração, 47
 Espriu celíaco, 24
 Esteatose, 63
 Esteróis, 67
 Estrutura
 dos vinte aminoácidos naturais
 que compõem as proteínas, 93
 quaternária da proteína, 91
 terciária da proteína, 91

F

Fadiga, 144
 FAO (*Food Agriculture Organization*), 106
 Fatia, 10
 Fenilalanina, 95
 Ferro
 ação no organismo, 150
 função, 14
 Fibra(s)
 alimentares
 composição química, 125
 definição, 124
 propriedades físicas, 127
 aplicações tecnológicas, 132
 composição química da, 125
 crua, valores, 133
 dietética(s)
 classificação dos componentes
 químicos das, 126
 valores, 133
 no bolo fecal, efeitos da
 suplementação de, 130
 nos alimentos, teor de, 132
 nos níveis de colesterol no
 plasma, efeitos das, 131
 patogênicas, 135
 Fibrinogênio, 103
 Fitosteróis, 156
 Fosfofrutoquinase, papel regulatório
 da, 40
 Fosfoinosítídeos, 76
 Fosfolipídeos, 75

Fosfoproteína, 94
 Fosforilação, 44
 Fósforo, ação no organismo, 149
 Frequência máxima cardíaca, 50
 Fritura, compostos resultantes
 durante o processo de, 73
 Frutoligossacarídeos, 155
 Frutose, 28

G

Galactose, 28
 Galatosemia, 28
 Glicemia, valores de referência para
 adultos, 86
 Glicerofosfolipídeos, 765
 Glicerol, 72
 Glicina, 23
 Glicogênio muscular, 37
 Glicolipídeos, 20, 76
 Glicoproteínas, 20, 67
 Glicose, 28
 absorção, 35
 no organismo, esquema de
 distribuição, 39
 produção a partir de proteína
 muscular, 101
 utilização pelo organismo, 37
 Glutamina, 24, 95
 Gomas, 124
 Gordura(s)
 estocagem, 67
 insaturada, fontes dietética, 71
 saturada, 70
 em alguns alimentos, 80

H

HDL, 81
 Hemeralopia, 140
 Hemicelulose, 124
 Hemoglobina, 52, 103
 fetal, 54
 Hemorragia digestiva, 64
 Hemorroidas, 136
 Hepatite alcoólica, 63
 Hepatotoxicidade, 158
 Heptoses, 28
 Hexoquinase, 21
 Hexoses, 28

180 • Índice Remissivo

Hidrogenação, 77
Hidrolases, enzimas, 21
Hidrólise, 77
Hipertireoidismo, 15
Histamina, 103
Histidina, 95
Holoenzima, 22
Hormônios, 103

I

Icterícia, 64
Índice de utilização proteica, 131
Ingestão
 adequada, 5
 Dietética Recomendada, 5
 média da população, limite para, 8
Insônia, 144
Interação entre alimentos e
 drogas, 157-160
Intestino, vilosidade do, 99
Intoxicação por vitamina A, sinais
 de, 140
Inulina, 155
Iodo, função, 14
Isomerases, enzimas, 21

K

Kwashiorkor, 4

L

Lactobacillus, 155
Lactulose, 155
LDL, 81
Lecitina, 19, 76, 85
Liasas, enzimas, 21
Lipase pancreática, 78
Lípido(s)
 absorção dos, 80
 acúmulo de, riscos provocados
 pelo, 85
 classificação, 75
 de origem animal, temperatura de
 fusão de alguns, 71
 definição, 69
 digestibilidade, 72
 digestão dos, 78
 ponto

 de fumaça de alguns, 73
 de fusão de alguns tipos, 72
 simples, 75
Lipoproteínas, 94
 no plasma sanguíneo,
 composição das, 81
Líquido, acúmulo de, 64

M

Má nutrição, 4
Macrominerais, 147
Magnésio, ação no organismo, 151
Manitol, 31
Manose, 28
Marasmo, 4
Massa corporal humana, 89
Medicamento à base de tiramina, 160
Medida
 caseira, 9
 de utensílios domésticos, 10
Membrana lipídica, 29
Metabolismo, compostos
 importantes do, 23
Metaloproteína, 94
Metionina, 85
Microminerais, 147
Minerais
 ação de alguns para o organismo, 149
 recomendações de alguns
 segundo as DRIs, 148
Mitocôndrias, 19
Moléculas orgânicas, adsorção, 129
Monossacarídeos, 27
 estrutura dos principais, 28

N

Nefrotoxicidade, 158
Neomicina, 86
Niacina, 22, 144
Nictalopia, 140
Nitrogênio proteico, metabolismo de
 absorção e excreção, 114
Níveis de Ingestão Superior
 Tolerável, 6
NPU (*Net Protein Utilization*), 117
Nucleoproteína, 94
Nutrição

ciência da
 aspectos sociais e culturais, 2
 como medir os alimentos da
 dieta, 9
 como garantir a boa
 alimentação, 3
 como planejar a dieta, 6
 dieta desejada, 4
 importância da, 1
 Nutrientes, funções específicas, 28

O

Obesidade, 138
 Oligominerais, 147
 Oligossacarídeos, 29
 Ômega-3, 155, 4
 Organismo humano, composição
 centesimal do, 14
 Osteomalácia, 141
 Osteoporose, 141
 Oxidorredutases, enzimas, 21

P

PDCAAS (*Protein Digestibility - Corrected Amino Acid Score*), 109
 valores do para algumas
 proteínas, 123
 Pectinas, 124
 Pentoses, 28
 Pepsina, 95
 PER (*protein efficiency ratio*), 113
 valores do para algumas
 proteínas, 123
 Pirâmide alimentar adaptada, 7
 Polares, compostos, 74
 Polihidroxialdeídos, 27
 Polimerização, 91
 Polímeros, compostos, 74
 Polipeptídeos no intestino delgado,
 digestão dos, 96
 Polissacarídeos, 29
 Ponto
 de ebulição dos lipídeos, 70
 de fumaça, 72
 de alguns lipídeos, 73
 Porção, 9, 10
 por proporção de alimentos em
 medidas caseiras, 11
 Potássio, ação no organismo, 151

Prato preparado semipronto ou
 pronto, 10
 Prebióticos, 154
 Probióticos, 154
 Prostaglandinas, 67
*Protein Digestibility - Corrected
 Amino Acid Score*, 109
 Proteína(s)
 absorção, 99
 classificação, 94
 conjugadas, 94
 contráteis, 103
 divisão, 95
 estrutura
 quaternária, 92
 terciária, 91
 estruturais, 103
 ligações na, 90
 metabolismo, 100
 níveis seguros por dia, 108
 padrão, composição dos
 aminoácidos essenciais das, 107
 sanguíneas, 103
 simples, 94
 síntese, 103
 sintetizadas pelo nosso
 organismo, 103
 Proteólise, mecanismo da, 50
Psillium, 155
Psillium, 155
 Pتيالina, 33

Q

Qualidade proteica, avaliação,
 método(s)
 biológicos, 102
 microbiológico, 105
 químicos de, 106
 Queratomalácia, 140
 Questões para estudo, sugestões,
 163-165
 Quilocaloria, 15
 Quilomícrons, 82
 Quitosana, 155

R

Rancificação, 77
 RDA (*Recommended Dietary
 Allowances*), 5
 Reação(ões)

182 • Índice Remissivo

- de desaminação das proteínas, 101
- de polimerização de aminoácidos, 90
- de transmissão das proteínas, 102
- metabólicas, 18
- Requerimentos Médios Estimados, 6
- Respiração
 - balanço energético da, 55
 - nos alvéolos, composição dos fases da, 56
- Ressaca, 65
- Retenção de água, capacidade de, 128
- Retinol, 139
- Riboflavina, 22, 143
- Rodela, 10

S

- Sangue transfundido, 54
- Score químico, 106
- Sensibilidade nas mãos, perda da, 145
- Serotonina, 103
- Síndrome da abstinência, 64
- Sintases, enzimas, 21
- "Síntese de novo", 23
- Sódio, ação no organismo, 150
- Sorbitol, 31
- Steady state*, 48
- Sulfolipídeos, 77

T

- Taquicardia, 36
- Tetrapeptídeo, digestão de um, 97
- Tiamina, 22
- Tocoferol, 86
- Transaminase, 101
- Transferases, enzimas, 21
- Triglicerídeos
 - propriedades dos, 77
 - valores de referência para adultos, 86
- Triose, 27
- Triptofano, 94
- Troca
 - catiônica, 129

- de gases nos tecidos, sangue e pulmão, esquema, 57

U

- Ulceração da córnea, 140
- Unidade, 10

V

- Valor
 - biológico de alguns alimentos, 117
 - de referência
 - colesterol, 86
 - glicemia, 86
 - triglicerídeos, 86
- Vertigem, 144
- Vilosidade do intestino, 99
- Vitamina(s)
 - A, 139
 - ácido pantotênico, 144
 - B₁, 143
 - B₁₂, 145
 - B₂, 143
 - B₃, 144
 - B₆, 144
 - B₇, 145
 - B₁₂, 85
 - C, 142
 - D, 140
 - E, 141
 - hidrossolúveis, 142
 - K, 141
 - lipossolúveis, 139
- VLDL, 81
- Voláteis, compostos, 74
- Volemia gravídica, 59
- Volume de oxigênio máximo, 48

X

- Xeroftalmia, 140
- Xilitol, 31

Z

- Zinco, ação no organismo, 152

Impressão e Acabamento:

Geográfica
editora